思维简史

从丛林到宇宙

人类的高贵，
在于我们的求知欲

霍金《时间简史》合著者、“会讲故事”的物理学家

伦纳德·蒙洛迪诺新作

带你踏上人类认知的探索之旅，
看清世界发展的隐秘线索

霍金
领衔推荐！
吴军、万维钢
作序推荐！

“大历史”开创者**大卫·克里斯蒂安**
神经科学家**大卫·伊格曼、拉玛钱德朗**
《自然》《华尔街日报》《出版人周刊》
联袂推荐！

中信出版集团

版权信息

书名:思维简史

作者:[美]伦纳德·蒙洛迪诺

译者:龚瑞

ISBN:9787508678146

中信出版集团制作发行

献给西蒙·蒙洛迪诺

推荐序一
我们与其他物种有什么不同

吴军
（计算机科学家，硅谷投资人）

2016年，当谷歌的AlphaGo（阿尔法狗）打败李世石之后，世界上掀起了一阵人工智能热，有的人兴奋，有的人恐惧，更多的人是迷茫。面对人工智能给人类可能带来的冲击，我们不禁问自己：人类过去的长处到底在哪里，以至于我们的祖先在同其他动物以及人类的近亲竞争中能够最终胜出？人类未来的希望在哪里，我们每一个人在未来的社会中如何能找到自己合适的位置？

我在一次讲座中问听众："在座的哪一位和剑齿虎搏斗过，如果有，能否把你剩余部分举起来让我看看？如果没有见过剑齿虎，和它们的近亲美洲狮搏斗过也可以。"当然没有人举手，一些听众会说："剑齿虎已经灭绝了。"是的，剑齿虎已经灭绝了，事实上是被我们的祖先灭绝的。这一点说明，我们的脑子远比四肢重要。至于为什么现代智人的思维高出其他灵长类动物，包括我们人类的近亲，蒙洛迪诺认为，是好奇心和不断从失败中总结经验的本领。

好奇心对人类文明的进程至关重要。在我们过去的印象中，中世纪是一个长期黑暗的年代，整个欧洲，民间除了《圣经》就没有一本流行的书籍。但是就是在这样的环境下却诞生了现代意义上的大学，这又是为什么呢？这就要说到人的一个本性了，即对未知世界的好奇和不断探究。中世纪是一个把精神世界看得比物质世界更重要的时代，精神上的富翁，也就是僧侣阶层，属于第一等级，地位要高于世俗世界的贵族，后者属于第二等级。其他人再有钱，只能算是第三等级。虽然教会总是希望用正统的思想统一人的思维，但是总是有一些僧侣试图搞清楚从物质世界到精神世界的各种奥秘，并且喜欢聚在一起研究学问，他们可能还会有不少追随者。前者成为教授，后者成为学生，这样由师生共同形成的团体，就是大学的雏形。大学的拉丁文一词最早是复数，即universities，意思是很多人的共同体，后来才演变成学校这样的专有名词，成为单数。直到今天，美国大部分大学教授的薪金报酬并不高，但是社会上依然有很多人优秀的人喜欢当教授，让他们做出这种职业发展决定的思想核心是探求未知，这一点和七八百年前的知识阶层没有什么太多的不同。

在《思维简史》这本书中，蒙洛迪诺讲述了很多这一类的例子，从亚里士多德和牛顿这样的大科学家，到古埃及不知名的学者，再到某个想把问题搞清楚的囚徒，都是如此。在未来的智能时代，计算机可以帮助我们解决问题，却不能取代我们提出问题，也就是说好奇心不仅在人类进化和现代智人形成的过程中起到了巨大的作用，未来依然是我们人类在大自然生存的立足之本。

光有好奇心还不足以促成文明的进步，人类还需要有系统地解决问题，获得新知的方法。在《思维简史》一书中，作者详细介绍了人类是如何从炼金术出发发展出化学，并且逐步认识构成我们物质世界的规律的。炼金术在东西方都出现过，从古埃及到古代中国，从阿拉伯世界到欧洲。但是，如果没有从玻意耳到普利斯特里，最后到拉瓦锡的工作，炼金术依然是一种巫术，而不会变成化学这样一种实验科学，更无法获得积累性的进步。拉瓦锡等人超出同时代人的地方在于他们的思维方式和工作方法，使得他们能够通过实验获得新知。拉瓦锡是量化实验的鼻祖，他是一个天平不离身的人，他总是强调没有进过精确的实验，不应该轻易得出结论。此外，拉瓦锡善于解释实验现象并且指出背后的理论原因，在这方面他给后人树立了很好的榜样。一个世纪之后，俄国伟大的化学家门捷列夫在前人工作的基础上，提出了元素周期表，他告诉了世人我们这个很复杂的世界其实不过是由几十种（当时只知道几十种元素）质量不同的基本元素构成，而且这些元素的排列很有规律。

类似地，在生物学上，从最早观察到细胞的胡克和列文虎克，到后来提出进化论的达尔文，也是靠着一整套有效的思维方法和实验方法，将生物学和遗传学从无到有建立起来的。我经常和朋友们讲，人和人之间的差异，首先还不是在学识上，更不是在金钱上，而是在思维方式和做事方法上。自笛卡儿以来，一套行之有效的思维方式，使得发明和发现从过去的偶然变成了后来必然。

挑战极限是人类思维的第三个值得称道的特点。当我们知道了世界上万物是由不同原子构成的之后，不禁要问那么原子里面是什么，那些更小的粒子如果存在的话，是如何相互作用的。从普朗克，经过爱因斯坦，到希格斯等人的工作，其实就是在挑战这个认知的极限。每一次，当人类觉得前人提出的问题都被解决之后，新的未知有展现在了我们的面前。当人类通过实验证实了希格斯关于希格斯场和希格斯波色子的理论，以及爱因斯坦关于引力波的理论之后，人类又发现我们的宇宙中可能充满着观测不到的暗物质和暗能量，它们占据了宇宙质能的绝大部分。这其实又是人类所需要突破的一个新极限。每一次突破这样的极限，人类的思维就进化了一次。对于今天的和未来的人，应该对世界永远充满这些需要突破的极限而感到兴奋。

事实上，人类的文明史相比地区的历史，甚至相比现代智人的历史，都是非常短暂的，世界还充满了未知。我们完全没有必要担心技术发展太快而会让机器取代我们，事实上我们有太多的事情要做，太多的问题要搞清楚，以至于我们需要更好的技术，当然，也需要更好的思维方式。

我想，好奇心、系统思考的方法（或者说思维方式），以及不断挑战极限的精神，应该是人类立足于世界的根本。

《思维简史》是一本提升我们认知的好书。里面史料详尽，故事生动有趣，阐述观点逻辑性强，我郑重向广大读者朋友推荐此书。

吴军
2018年1月29日于硅谷

推荐序二
科学家的核心价值观

万维钢
（前物理学家，现科学作家，得到《精英日课》专栏作者）

现在有谁不是科学家的崇拜者呢？世人公认科学是第一伟大的力量，科学家的社会形象特别好，他们有时候会受到明星一样的追捧。

有时候人们把科学家当明星崇拜，就好像球迷谈论梅西昨天晚上的进球一样谈论科学家的丰功伟绩，仿佛与有荣焉。有时候我们把科学家的事迹当文艺八卦，像流行美剧《生活大爆炸》那样，认为这是一群有点怪异但是又很可爱的人。科学可以是一个很酷的姿态，可以是一种范儿。

绝大多数科学家做梦都没想过能有这样的公众地位。可是如果你一直都用追星的情绪看科学家的话，你就错过了最有价值的东西。

摆在你面前的这本《思维简史》，讲的是人类历史中最厉害的科学家的冒险故事。而你要想从他们身上学到真东西，读这本书最好的视角就不能是把自己当“粉丝”。你应该想象自己是他们的一员。

这本书的作者伦纳德·蒙洛迪诺（Leonard Mlodinow）是位成功的科学作家，但他也是一个真正的物理学家——他不是报道科学家的记者，他是科学家的同事。

我猜每个物理学家都想在有生之年写一本有关科学史的书。最近这几年就有斯蒂芬·温伯格写过，丽莎·兰道尔写过，麦克斯·泰格马克写过。蒙洛迪诺这本是最容易读的。

这本书能让你从科学家身上学到一点真东西。这些真东西可能和你以前想的非常不同。为了确保你得到，我来给你解说一下。

脱离日常生活，才有科学

“科学是人们对生产生活的观察和总结，科学知识对实践有指导意义。”请问你觉得这句话有没有道理？

答案是这句话完全是错的。如果你相信这句话，你就是亚里士多德的学生

——而你要知道，科学从伽利略那个时代开始，就已经不是这个意思了。

伽利略是第一个做抽象实验的人。他想研究物体是怎么下落的，可当时没有精确的计时设备，他只能设法把下落速度减慢。为此伽利略做了一个斜面，让铜球在斜面上滚下来。这个实验之所以“抽象”，是因为伽利略的关键一步是把铜球和斜面都弄得非常光滑，甚至还抹了油来把摩擦力减小到最低——这不是日常生活中的物体运动。伽利略试图研究一个理想化的情况，也只有这样，他的数学定量方法才有意义。

伽利略发现小球下落的速度越来越快，速度和球的重量无关。这是一个绝对反常识的发现。此前亚里士多德在日常生活中观察，都是越重的东西下落速度越快。

所以开启科学的第一步，是脱离日常生活。

牛顿三大运动定律也是这样，在日常生活中根本没有对照物。第一定律说“一个没有外力作用的物体将会保持匀速直线运动或静止”—— 生活中哪有什么做匀速直线运动的东西？牛顿考虑的是一个没有空气阻力、没有摩擦力的理想状态。

《自然哲学的数学原理》这本书几乎是一出世就受到了热烈欢呼—— 可是这本书讲的内容，对当时那些人的生产生活完全没有指导意义。它是一个“哲学”，目的是解释天体的运动。人们研究自然哲学的时候心里想的并不是将来搞发明创造工业革命，他们纯粹是想知道世界到底是怎么回事。

这种与直接生存本能无关的思维追求，也许源自人类进化成智人以来就有的一个特性。尤瓦尔·赫拉利在《人类简史》里说智人相对于其他直立人的一个认知升级，是我们能够想象一些不存在的东西。有很多事情是我们先想到，然后才做到的。

中国有很多人认为生产生活方式决定人的思维方式，然后思维方式才对生产生活有一点——有限的——指导作用。可是仔细考察人类历史，似乎并不是这样。在真实历史中思维方式总是先行，是先有了思维方式的重大改变，才有了生产生活的重大改变。

比如说，以前的学者以为新石器时代的人是因为有了农业种植生产，才有了固定的住所。可是最新的考古发现中有个“哥贝克力石阵”，这是采集狩猎者的作品，是个宗教遗迹。人们似乎为了宗教祭祀的方便才住到了一起，然后人们为了能住到一起才开始发展农业。

科学不就是这样的吗？先有一个与日常生活无关的想法，然后这个想法带

来生活方式的改变。

永远都是想法先行。能产生超越日常事物，同时又有价值的想法，这才是科学这个事业的本质行为。

但科学家是人不是神。人产生科学想法的过程，一点都不自然。

科学家的内心挣扎

我以前就是个物理学家，做过十多年的研究工作。我的一个重大体会是做研究和学知识是两件完全不同的事。再难的物理教科书也是对真实物理研究的大大简化。有很多东西一旦跟你说破了，你接受了，完全可以很轻松地照着去做——但如果没人告诉你，你要自己想出来可就难了。有时候你还要克服心理障碍。

比如万有引力定律，现在人人都知道任何有质量的东西之间都有吸引力，但是当年牛顿可不知道。什么苹果砸在头上顿悟的故事其实是个童话。

牛顿写第一版《自然哲学的数学原理》的时候，仍然只把引力当成是天体之间的作用力，他没有想到，或者想到了但是还不确信，地球上的各种东西之间也存在引力。牛顿是到后来才相信引力是普遍现象。

而到这一步，人们就必须接受一个在当时很不寻常的观念：天上和地上的东西都受同一套物理定律支配！

达尔文也面临这个问题。达尔文提出了进化论，但是没有办法协调进化论和上帝的关系。如果各种生物都能自发地通过进化产生，那上帝的任务是什么呢？如果科学定律不仅适用于天上和地下，还适用于人，那上帝就无事可做了！

伽利略、牛顿和达尔文都是非常虔诚的宗教教徒。他们怎么解决自己的宗教信仰和科学思想的冲突呢？今天的人可以轻松地来一句我们要相信科学不信宗教，殊不知当时的科学家经过了多少内心挣扎才把这个世界观留给你。

然后牛顿几乎成了新的上帝。学者们试图把所有学科“牛顿化”，化学家甚至相信把化合物连在一起的那个力也是牛顿的引力！

但是爱因斯坦提出了相对论，在牛顿定律够不着、日常生活根本达不到的地方改写了牛顿的定律。几个科学家对常识进行了革命，又有新的科学家对那几个科学家进行了革命。

这个故事的主题就是革命。蒙洛迪诺说爱因斯坦相对论最大的意义在于给后来的新生代物理学家提供了勇气。而这种勇气连爱因斯坦都受不了。

紧接着，我们看到玻尔提出轨道量子化的理论，爱因斯坦说你这个理论我也想过，可是我觉得过于离奇了，没敢发表。后来玻尔始终说服不了爱因斯坦接受量子理论，玻尔都哭了！

你读书读到这里要是内心没有波澜起伏，你根本就没读懂。

原子论刚出来的时候，很多物理学家无法接受，他们认为原子这个东西摸不着看不见根本无法研究，原子论只能算是哲学而不是科学。好不容易大家都接受了原子论，人们又难以接受汤姆孙发现的电子，因为大家觉得原子是不可分割的。等到卢瑟福提出原子核可以衰变，主流物理学界又反对，说一个原子变成另外一种原子，这不是炼金术吗？

这本书里科学家的工作都是反常识的。到了海森堡提出自己的理论，连位置、速度和确定性这些概念也要推翻的时候，爱因斯坦至死都不能接受。

面对这样的历史，你要是来一句“科学家就是不能有成见啊，科学就是革命的事业”，你可能就太轻佻了。最容易理解革命的时候是革命成功以后。

如果革命这么容易，科学怎么不是在中国产生的呢？

为什么中国没有科学

从冯友兰到李约瑟，很多热爱中国的学者都问过这个问题：为什么中国古代没有科学？人们分析了各种原因，有人还认为中国古代有科学——墨子的东西难道不是科学吗？

你要是不知道科学是什么，你就根本不配回答这个问题。

科学是一个反常识的、永远在革命的、不以实用为目的的东西，是纯粹精神上的追求，是人类想要知道这个世界的底层逻辑，是想破解世界的源代码。鉴于生物本能是生存和发展优先，没有科学是正常的，有科学是不正常的。

为什么古代中国没有科学？答案是只有古代希腊有科学。希腊之外，其他地方都没有科学。

罗马比希腊强大，但是罗马没有科学。罗马帝国征服希腊、统治欧洲那么长的时间之内，欧洲没有任何科学，连希腊人都放弃了科学。幸亏阿拉伯

人把希腊的经典著作翻译了过去，科学得以在伊斯兰世界保存。

但阿拉伯人也没有科学。阿拉伯人翻译希腊著作不是为了追求科学，而是认为那套东西可能有用，再加上当时阿拉伯人有钱。阿拉伯帝国衰落以后，欧洲人又把这些东西翻译回了欧洲。

而欧洲人这么做也不是为了追求科学。一个是也觉得这套东西可能有用，一个是欧洲贵族们认为搞这些东西能够彰显自己的身份和地位。

但是希腊科学的种子毕竟保留了下来，并且在漫长的中世纪里默默传承，直到伽利略出现。等到伽利略开始做那些反常识的实验的时候，科学才真正在欧洲复兴。

那希腊为什么会有科学呢？也许是因为希腊有个哲学传统，而这套哲学恰好不追求有用。但也许纯属偶然。希腊出了个泰勒斯，把从埃及学到的几何学和他自己的哲学结合起来，认为世界应该是数学的，而不是什么神的——他迈出了产生科学的最关键一步。

所以科学是一个难能可贵的东西。可能在一个初始条件一模一样的平行宇宙里，地球人到今天也没有科学。

科学还是个很脆弱的东西。希腊科学并没有帮助希腊人富国强兵。古罗马人认为希腊那一套没用，直接就把科学放弃了。纳粹德国曾经禁止研究量子论，因为第一，当时搞量子论的大部分都是犹太人，这不爱国；第二，量子论研究的东西过于抽象，就好像当时兴起的抽象派艺术一样，不符合主流的审美。

直到一百年以前，科学家也不是全社会最受崇拜的人。现代人如此崇拜科学，很大程度上是从第一颗原子弹爆炸开始的——人们是见识了科学的力量才崇拜科学，人们真正崇拜的其实是科学的力量。

我觉得这种崇拜有点势利。在这个科学已经大行其道的年代，蒙洛迪诺提醒我们科学家的初心是什么。我觉得这个初心可以总结成下面这三个“核心价值观”。

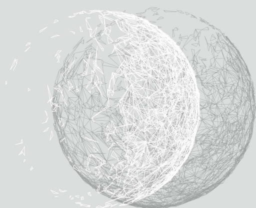
1.你的目的是想知道这个世界到底是怎么回事。

2.你的理论要能用数学精确表述。

3.对错与否取决于对自然的观测和实验。

其他一切都不重要，科学就是科学自身的推动。

近代中国人总想对人类文明做出比较大的贡献——我们也许应该先想到，这样的贡献并不好做。



第一部分
直立的思想家

神秘感是一个人所能经历的最美好、最深刻的体验。它既是宗教的基本原理，也是所有艺术和科学的基本原理。在我看来，一个不曾有此体验的人，如果不是死了，至少也是瞎了。

——阿尔伯特·爱因斯坦，
《我的世界观》，1932

1.我们求知的动力

我父亲有一次和我谈起了他在布痕瓦尔德集中营的同室狱友。那个人瘦骨嶙峋，学习过算术。你可以根据别人听到“派”（π）时的想法判断出他是什么样的人。对于“数学家”而言，它是圆的周长同直径之间的比率。如果问我父亲——他只上到七年级——他会说“派”是里面夹着苹果的面包圈。有一天，数学家室友不顾他们之间的鸿沟，给我父亲出了一道数学题。我父亲想了好几天还是无法解答。当他再见到这个狱友的时候，他向这个人求教解题方法。这个人不愿意说，让我父亲必须自己找出答案。过了一阵子，父亲又和他谈及此事，但那人严守他的秘密，好像答案是一块金子。父亲尝试着打消掉自己的好奇心，但他做不到。尽管集中营里臭气熏天，时时有死亡的威胁，他却像着了魔似的想知道这道题的答案。最终，另一个狱友向我父亲提出做一笔交易——如果父亲愿意拿面包圈交换，他就把这道题的答案告诉他。我并不清楚父亲当时的体重是多少，但在美军把他解救出来时，他只有85磅（38.56千克）重。在那种环境里，父亲想要知道这道题答案的欲望是如此强烈，以至于他愿意拿自己的面包来换答案。

父亲给我讲这件事的时候我还是个毛头小子，但这件事对我产生了巨大的影响。父亲的家人都已过世，他的财产也被没收，他食不果腹，憔悴不堪，还遭到殴打。纳粹夺走了他的一切，但他思考、推理和求知的动力还在。他的身体虽被囚禁，思想却自在遨游，事实也确实如此。那时我就意识到求知欲乃是人类所有欲望中最重要的，尽管我们身处的环境不同，但驱使我认识世界的热情和父亲是一样的。

在我上大学以及之后研究科学的过程中，父亲询问我最多的不是我所学的各种术语，而是它们隐含的意义——这些理论是如何得出的，为什么我觉得它们很美，对于人类它们又有什么意义。这本写于几十年之后的书，算是我最终对这些问题的回答。

* * *

数百万年之前，人类开始站直身体，这改变了我们的肌肉和骨骼，使我们能够以一种直立的姿势行走，我们的双手因此得到解放，可以去探索和操控周围的物体；这还拓宽了我们的视野范围，使我们可以去更远的地方探索。在站立起来的同时，我们的思考能力也超出其他动物一大截，这让我们可以不只是用眼睛去看，还可以用大脑去探索这个世界。我们站了起来，但最重要的是，我们开始思考。

人类之所以高贵，是因为我们有求知的动力。作为一个物种，人的独特性

体现在经过上千年的努力，我们成功地破解了自然的密码。假若给古代的人一台微波炉去加热野牛肉，他或许会认为这个盒子里有一群辛苦工作、像豌豆那么大的神仙，他们在食物下面生起小小的篝火，在盒子打开的一瞬间又会神奇地消失。但事实就是如此神奇——宇宙中的万事万物都遵循一组简单却不可违背的抽象法则，从微波炉的工作原理到我们周围的各种自然奇观皆是如此。

随着对自然世界的认知不断演进，我们从过去将潮涨潮落视为女神的旨意，发展到后来认识到这只是月球引力的结果而已。我们不再把星星看成是天上的诸神，而是看成原子反应堆在向我们投射光子。今天，我们清楚距离我们1亿英里的太阳[注]的内部情况，也知道相当于我们10亿分之一的原子的结构。我们能够破解这些以及其他自然现象的密码不仅仅是个奇迹。它同时也是一个扣人心弦的神话，一部史诗。

前一阵子，我为热播的电视剧《星际迷航：下一代》写了一季剧本。第一次开剧本讨论会的时候，在座的都是这部戏的其他编剧和制片人，我为其中一集想到了一个点子，为此我激动不已，因为这个点子涉及太阳风真正的天体物理学原理。当我激情四溢地描绘着我的观点及其背后的科学依据时，大家都看着我这个新来的家伙——他们中间的物理学家。当我说完后——整个过程不到一分钟——我心满意足，骄傲地看着我的老板。他是一个脾气不好的中年制片人，曾经是纽约市警察局刑事犯罪科的侦探。他直勾勾地瞪了我一会儿，脸上的表情不可捉摸，然后大声说：“闭嘴，你这该死的书呆子！”

当我从尴尬中恢复过来，我明白他想告诉我的是，他们之所以雇我，是因为我讲述故事的能力，而不是要我给他们上一堂关于星星的物理学拓展课。我完全接受他的观点，从那之后我就照此方法进行写作。（他另一个让人记忆犹新的建议是：如果你感觉自己快被炒鱿鱼了，赶紧关掉你家游泳池的加热器。）

科学在错的人手里会非常枯燥，但关于我们知道什么以及我们是如何知道的的故事却一点儿也不乏味。这将会是超级令人振奋的。人类探索的过程就如同一部电视剧，它和《星际迷航》或者人类第一次登上月球一样引人入胜，剧中有激情四溢、怪异有趣的角色——就像我们在艺术、音乐以及文学作品中见到的一样，也有永远充满好奇心的探索者，正是他们的好奇心将人类这个起源于非洲大草原上的物种带到了今天我们所生活的这个社会。

他们是怎样做到的？我们又是怎样从一个几乎不会直立行走，只能通过双手采集坚果、浆果以及植物根茎来果腹的物种，发展成为今天能驾驶飞

机、全球实时发送信息、在巨大的实验室里再造宇宙初期条件的现代人类的？这就是我想要讲述的故事，了解了这个故事，你就会明白作为人你究竟继承了怎样的遗产。

* * *

“世界是平的”这句话在今天已经成为陈词滥调。但如果国与国之间的距离和差异可以有效地缩小，那今天和明天之间的差别就会增大。人类在大约公元前4000年的时候建造了第一批城市，长途旅行最快的方式就是靠驼队，可这平均每小时也只能走上几英里而已。大约在1 000或2 000年之后，人类发明了马车，最快速度提高到了每小时20英里（32.19千米）。直到19世纪，蒸汽动力机车的出现才使快速旅行成为现实，到19世纪末最高时速达到了100英里（160.93千米）。从学会以每小时10英里（16.09千米）的速度奔跑，到以每小时100英里的速度疾驰，人类用了200万年。但一种飞行速度高达每小时1000英里（1 609.34千米）的飞机的发明，使人类只花费了50年的时间就给这个数字后面加上一个零。到20世纪80年代，人类可以乘坐宇宙飞船以超过每小时17 000英里（27 358.85千米）的速度旅行。

其他科技的发展也显示了类似的加速过程。以通信为例，19世纪初期，路透社还在使用信鸽在城市之间传递股票市场的消息。到了19世纪中期，电报获得了广泛的应用，到了20世纪，电话出现了。固定电话花费了81年才获得75%的市场份额，手机达到这一市场份额却只用了28年，而智能手机则只用了13年。近些年，手机作为一种通信的工具，其功能先是被电子邮件取代，接着被短信取代，同时手机越来越被当作能装进口袋里的电脑，而不是为了打电话。

“今天这个世界，”经济学家肯尼思·博尔丁说道，“跟我出生时的那个世界之间的不同就像我的世界和尤利乌斯·恺撒时代的世界不同一样。”博尔丁出生于1910年，于1993年逝世。他所目睹的变化——和随后发生的其他变化——是科学以及由此衍生出来的技术的产物。这些变化在人类生活中所占的比重越来越大，而我们要想在工作和社会上获得成功，也越来越依靠我们接受创新和开拓创新的能力。今天，即使我们所从事的工作和科学技术没多大关系，我们也要面临依靠创新来保持竞争力的压力。所以对我们所有人来说，探索的本质是一个重要的话题。

要想对我们今天所处的位置有一个清晰的认识，也为了让我们有望理解我们将走向何方，我们必须要知道我们从何处而来。人类智力发展历史上的伟大胜利——书写、计算、自然哲学以及其他各个学科——通常都是孤立的，就好像它们之间不存在任何关联一样，但这种看法是“只见树木，不

见森林”。它忽略了人类知识的整体性，而这才是它最本质的特性。现代科学的发展——比如通常被认为是像伽利略和牛顿这样“孤立的天才”的作品——并不是从一个真空的社会或者文化中出现的。它深深扎根于古希腊人对知识的求索过程中；它成长于宗教提出的重大问题中；它与艺术创作的新手法一同发展；炼金术赋予了它斑斓的色彩；如果没有社会的进步，诸如欧洲那些伟大的大学的繁荣发展，或者连接城市与乡村的邮政系统的世俗发明，就不可能实现。同样，希腊的启蒙运动，也是源自生活在美索不达米亚和埃及这些土地上的早期先民那让人叹为观止的智慧发明。

正是因为这些影响和关联，人类对宇宙的理解才不会是一个个孤立的片断。就如同一本优秀的科幻小说，它有内在的叙事结构，形成了统一的整体，内部线索盘根错节，相互勾连，故事从人类起源的初期开始讲起。在接下来的文章中，我将选择性地带领大家了解这个艰难的探索之旅。

我们的旅行从现代人类大脑的发展开始，并重点突出那些人类大脑掌握认识世界新方法的重要时代以及转折点。同时，我还将描绘那些让人着迷的人物，他们有着独特的个性，他们的思维模式在那些创新领域发挥了重要的作用。

像许多神话故事一样，这部大戏由三部分构成。第一部分，我们将跨越数百万年的时间，去追寻人类大脑的进化，以及它爱问“为什么”的倾向。这些疑问推动着人类初期的精神求索，并最终催生了书写和计算，以及定律的概念——科学不可或缺的工具。最终，这些疑问促成了哲学的诞生，其洞察力让我们了解到物质世界是依据某种规律和原因运行的。

我们旅途的第二部分将探索自然科学的诞生。这是一个关于创新者的故事，他们拥有非同一般的认识世界的天赋，他们耐心、坚韧、聪明，即使有时候需要花费数年，甚至是数十年去完善他们的理论，他们也会奋勇向前。这些先驱——像伽利略、牛顿、拉瓦锡，以及达尔文——同他们所处时代已经确立的教条进行了长久的、卓绝的斗争，他们的故事无一例外都是个人抗争的故事，付出的代价甚至包括他们的生命。

最后，就像许多完美的故事一样，当主人公有理由相信自己已经接近旅程的尾声时，剧情又发生了意想不到的转折。正当人类认为已经破译了自然的各种法则，剧情又发生了奇怪的转折，爱因斯坦、波尔以及海森堡发现了一个全新的存在领域，这是一个不可见的领域，它的法则还不曾为人类所熟知。“那个”世界——以及它不同寻常的法则——由于太小以至于很难被直接理解：这是一个被量子物理学统治的原子的微缩宇宙。正是这些法则导致了我们经历的那些沧海桑田般的变化，并且这些变化仍在加剧。正因为我们理解了量子理论，我们才能够发明电脑、手机、电视、激光、互联网、医学成像、基因图谱，以及大部分让现代生活发生革命性变化的新

技术。

本书第一部分跨越了数百万年的历史，而第二部分却只涵盖了数百年，第三部分的时间跨度则只有数十年，这反映出人类知识的累积在以指数速度加快——以及我们认知这个陌生新世界的渴望。

* * *

人类艰苦的探索之旅延续了多个世纪，但是我们认知世界的特点却始终如一，因为这就是我们人类的天性。其中一个特点对于那些在创新和探索领域工作的人来说应该非常熟悉——构想一个不同于已知世界或概念的新世界或新概念是有难度的。

在20世纪50年代，艾萨克·阿西莫夫，这个最伟大、最有创新能力的科幻小说作家写出了基地三部曲，这部系列小说描绘了未来数千年的故事。在这些书里，男人每天去办公室上班，女人则留在家里。没过多少年，这种对遥远未来的幻想就已经成为过去的事情了。我之所以提起这个，是因为它展示了人类思维最普遍的局限性：我们的创新能力受到传统思维定式的束缚，这些束缚深植于我们的信仰之中，无法摆脱，甚至让我们不敢去质疑。

构想变革的难度的另一面是接受变革的难度，这也是我们故事的另一个绕不开的特点。人类发现难以接受变革。变革对我们的头脑提出新要求，迫使我们走出舒适区，打破了我们的思维定式。它让人困惑和不知所措。它要求我们放弃旧有的思维方式，而这种放弃不是我们的自主选择，是强加在我们身上的。更重要的是，科技进步所带来的变革经常会终结我们的信仰体系，而绝大多数人——或许他们的职业和生计——全都要仰仗于此。其结果就是科学领域的新概念常常会遭到抵制、怒斥以及嘲讽。

科学是现代技术之魂，现代文明之根。它和我们今天生活中的许多政治、宗教和道德问题息息相关，它所隐含的观念正在以前所未有的速度改变着我们的社会。但正如科学会影响人类的思考方式一样，人类的思考方式也在科学理论的构建中发挥着重要的作用，这一点无可置疑。正如爱因斯坦所说，科学“如同人类其他努力一样主观和充满心理暗示”。注 这本书试图本着这种精神去描绘科学的发展——把它当成一项思想上以及文化上决绝的事业，只有通过对塑造它的个人的、心理的、历史的以及社会的条件的全面审视，我们才能更好地理解这项事业的理念。以这种方式看待科学，不仅能让我们认识这项事业本身，也能了解创造力和创新的本质，以及更普遍的人类的现状。

1. 太阳与地球的平均距离为14 959.787万千米。——编者注

2. Alvin Toffler,*Future Shock* (New York: Random House, 1970), 26.

3. "Chronology: Reuters, from Pigeons to Multimedia Merger,"*Reuters,*February 19, 2008, accessed October 27, 2014, http://www .reuters.com/article/2008/02/19/us-reuters-thomson-chronology-idUSL1849100620080219.

4. Toffler,*Future Shock,* 13.

5. Albert Einstein,*Einstein's Essays in Science* (New York: Wisdom Library,1934), 112.

2.好奇心

为了理解科学之根源，我们必须回过头去审视人类物种之根源。人类的独特之处在于我们被赋予了理解自身以及世界的能力和渴望。正是这种伟大的天赋将我们同其他的动物区分开来，这也是为什么我们会拿豚鼠和小白鼠来做研究，而不是它们来研究我们。求知、推理以及创造的渴望，经过数万年的锻炼，使我们掌握了生存的工具，使我们能够建造一个属于我们自己的独特的生态世界。通过使用智力，而不是体力，我们可以根据自己的需要来改造我们的环境，而不是让环境来改造或者打败我们。历经数百万年的进化，我们大脑的思考力和创造力帮助我们战胜了挑战我们身体力量和敏捷度的各种障碍。

我的儿子尼古拉小的时候常常喜欢抓小蜥蜴来当作宠物——如果你生活在南加州你也可以这么做。我们注意到当我们走近这些动物时，它们首先会一动不动，然而接下来我们正要伸手抓它们时，它们就会逃之夭夭。最后我们想出一个法子，我们带上一个大盒子，在蜥蜴溜走之前把它扣在下面，然后再从下面塞进一个盖子，抓捕工作就算完成了。从个人角度讲，如果我走进一条阴暗的被遗弃的街道，看到什么可疑的动静，我不会待着一动不动；我会立即跑到街道的另一头。所以我可以有把握地断定如果有两个大型肉食动物向我走来，还拿着一个巨大的盒子，我会想到最坏的一面，然后马上逃走。可是蜥蜴不会这么质疑它们的处境。它们纯粹是根据本能做出反应。毫无疑问这种本能在尼古拉和盒子出现之前的数百万年里让它们活了下来，但现在它们却失败了。

人类的肢体构造或许并不是进化的终极样本，但我们确实有能力用推理替代本能，并质疑我们的环境。这正是科学思维的先决条件，它是我们这个物种最重要的特质。我们的历险就从人类大脑的进化开始，从它独有的天赋开始。

我们称自己为“人”属物种，但“人”这个词实际上并不单指我们——现代智人——它是整个人类种属的统称。这个种属还包括其他的物种，如能人和直立人，但这些近亲早已灭绝。在进化这项淘汰制锦标赛中，所有其他的人属物种都被证明失败了。只有我们，凭借思考的力量，赢得了生存挑战（至少现在如此）。

有人说犹太人是猴子的后裔。但实际上犹太人——也包括所有其他人种——并不是从猴子进化而来的，而是从类人猿和老鼠，或者至少类似老鼠一样的生物进化而来的。(注)在科学文章中被称为中古兽（Protungulatum

donnae）的生物，是我们的太太太……祖母——我们远古时代的灵长类，以及其他类似我们的哺乳类动物的共同先祖——这种看上去十分可爱，有着毛茸茸尾巴的生物体重不到半磅（0.23千克）。



艺术家描绘的中古兽

科学家相信在660万年前这种小型动物在它们的栖息地里快乐地生活，不久之后一颗直径6英里（9.66千米）的小行星撞击了地球。这次灾难性的撞击在空气中扬起足够多的尘埃，遮蔽了阳光很长时间——并产生足够的温室气体，气温急速上升。黑暗和随后的高温杀死了约75%的植物和动物，但我们是十分幸运的：在它创造的生态圈里那些生育幼崽的动物可以存活并繁衍生息，而不会被饥饿的恐龙和其他猎食者吞食。在随后的数十万年中，新的物种不断出现，又不断消失。中古兽大家族里的一支进化成了现代猩猩和猴子的祖先，接着又进一步分化，进化出我们现存的近亲，黑猩猩和倭黑猩猩（小型的黑猩猩），以及最终，有了你，本书的读者和你的人类同伴。

现在大多数人能够接受我们的“祖母”长着尾巴并以昆虫为食这个事实了。但比起接受事实我还想更进一步：我对人类的祖先，以及它们生存的故事

和文化的进化非常兴奋和着迷。我认为我们的先祖由老鼠和猿猴进化而来是自然界最酷的事情之一：在我们这个神奇的星球上，一只老鼠再加上660万年就能制造出一个研究老鼠的科学家，并由此发现他们的进化之根。沿着这条进化之路，我们产生了文化、历史、宗教和科学，我们用混凝土和钢铁建造的闪闪发光的摩天大楼代替了我们祖先用树枝搭成的巢穴。

这种智力上的发展一直在神奇地加速。大自然花费600万年制造出人类的祖先——“猿猴”；我们身体上的进化发生在区区100万年的时间里；我们文化的发展则只用了1万年。正如心理学家朱利安·杰恩斯所说：“所有的生命进化到某一点，接着我们转向了正确的方向，然后开始爆炸式发展。”注

动物大脑第一次进化最初始的原因是为了更好地运动。运动能力——寻找食物和藏身之地，躲避天敌——当然是动物最根本的特质之一。回头看看诸如线虫类、蚯蚓以及软体动物的进化史，我们发现最早类似大脑的器官主要是按正确的顺序刺激肌肉来控制运动。但如果没有观察环境的能力，运动也没有多大意义，即使是最简单的生物也有感知周围环境的方式——比如，单细胞动物会对某种化学物质或者光子做出反应，通过向控制肌肉的神经发送电脉冲来实现运动。在中古兽出现的时候，这些对化学物质或者光照敏感的单细胞动物逐渐进化出了嗅觉和视觉，控制肌肉运动的神经中枢进化成了大脑。

没有人知道我们祖先的大脑是如何划分出不同的功能区的，但即使在现代人类的大脑中，一多半的神经元是用来控制运动以及其他5种感官功能的。从另一方面讲，让我们的大脑区别于其他“低等”动物大脑的部分所占比例相当小，而且还是后来出现的。

大约在300万～400万年之前，第一种类似人类的生物出现在了地球上。注我们直到1974年才知道这种生物的存在。那天非常炎热，一位来自伯克利人类起源学院，名叫唐纳德·约翰松的人类学家被一小块突出于灼人的地面的手臂骨绊倒。这块骨头发现于埃塞俄比亚最北端一个干涸的沟壑里。约翰松和一个学生很快挖出了更多的骨头——大腿骨、肋骨、脊椎骨，甚至一小块下颚骨。一切都显示，他们发现了半具女性骸骨。她有女性的骨盆，颅骨较小，短腿，长长的悬垂的手臂。她可不是你想要邀请去舞会的女伴，但这位320万岁的老太太被认为和我们的过去存在着某种联系，她属于一个过渡性物种，很有可能就是我们整个种系的祖先。

约翰松将这个新物种命名为南方古猿（Australopithecus afarensis），意思是“阿法尔南部猿人”，阿法尔是他在埃塞俄比亚发现这个物种的地区的

名字。他还给她取了个名字：露西，名字源自披头士的一首歌，《露西在缀满钻石的天空》，约翰松和他的团队在营地庆祝时收音机里播放的就是这首歌。安迪·沃霍尔说每个人都有15分钟的出名机会，几百万年之后，这个女人终于等来了她的机会。或者更确切地说，只有一半的她出了名，她的另外一半一直没有找到。

人类学家能从半具骸骨上看出这么多的东西，实在令人惊叹。露西巨大的牙齿，以及为了适应磨碎食物而生的下颌，表明她是以植物为食的，她的食物由粗糙的植物根茎、种子、外皮坚硬的水果构成。她的骨架证明她有一个大肚子，这很有必要，因为只有这样她才有足够长的肠道来消化她为了生存需要摄入的大量植物。更重要的是，她的脊柱和膝盖构造显示她或多或少能直立行走。2011年，约翰松和他的同事在附近发现了另一块露西同类的骨头，这块骨头和人类足部的骨头很相似，足弓适合行走，而不是用来抓取树枝。露西的同类经过进化，从生活在树上，转而适应了地面上的生活，这使得他们可以穿过森林和草地的混合生态圈去找寻地面上新的食物来源，比如富含蛋白质的植物根茎。许多人相信，正是生活方式的转变才促使整个人类物种出现。

想象一下你生活在一个屋子里，你的母亲就住在隔壁，她的母亲又住在她的隔壁，如此继续下去。人类的传承并不是线性的，而是有复杂的分支。想象一下开车穿过那样一条街道，从现在开往过去，你会遇到一代又一代的祖先，这应该很有趣吧。如果你真这么做，你差不多需要开上4 000英里（6 437.38千米）才能到露西的家，这个只有3.7英尺（1.28米）高、65磅重（29.48千克）的浑身长毛的女人在你眼里恐怕更像是一只黑猩猩，而不是你的亲戚。你在半路上还会经过另一位祖先的家，他和露西之间隔着10万代，这一物种和今天的人类已经十分相似了，从骨骼——以及据科学家推断——和大脑上看，可以将其划归人属了。科学家把那个200万年的古老物种命名为能人，或者“手巧的人”。

能人生活在辽阔的非洲大草原上，当时由于气候变迁，森林面积开始缩减。这些草原并不是舒适的生存环境，因为许多恐怖的捕食者生活在这里。此外，能人还要和一些不那么危险的捕食者竞争食物。能人生存的一个途径是使用他们的智慧——他们拥有一个全新的、容量更大的大脑，体积如同一个葡萄柚。按照水果沙拉来衡量脑容量的话，他们比我们的罗马甜瓜要小，但却是露西橘子般大脑的两倍。

在对不同物种进行对比时，我们根据经验可知，在智力水平和大脑容量相对于身体体积之间有一种大致的关联。因此，从他大脑的容量我们可知能人在智力水平上比露西和她的同类有了很大的提升。幸运的是，我们能够

估测出人类和其他灵长类动物大脑的体积和形状，即使这些物种已经灭绝很久，但因为它们的大脑紧密地贴着颅骨，只要能找到一个灵长类动物的头骨，我们就可以复原曾经装在其中的大脑。

为避免有使用帽子的尺码来替代智力测试的嫌疑，我应该再加上一条声明，当科学家声称能够通过比较脑容量来测试智力时，他们指的只是对不同物种的平均脑容量进行比较。即使同属于一类物种，脑容量也会因为个体的差异而有很大的不同，但在同一类物种中，脑容量和智商之间并不存在直接的关系。注比如，现代人类大脑的平均重量是3磅（1.36千克）。然而英国诗人拜伦的大脑重量达到了5磅（2.68千克），而另一位法国作家，诺贝尔奖得主阿纳托尔·弗朗斯大脑的重量只有2磅（0.91千克）多一点儿，爱因斯坦大脑的重量也只有2.7磅（1.22千克）。还有一个例子，一个名叫丹尼尔·里昂的人，死于1907年，活了41岁。他有着正常的体重和智力水平，但在验尸的时候，人们发现他大脑的重量勉强达到680克，大约只有1.5磅重。讲这个故事的意思是，在同一物种中，大脑的结构——神经元以及神经元组之间相连接的性质——比起大脑的体积来说更为重要。

露西的大脑只比黑猩猩的大那么一丁点儿。更重要的是，她头骨的形状表明，她大脑增加的部分主要集中在处理感觉的区域，而额叶、颞叶以及顶叶——大脑主要负责处理抽象思维和语言的区域——依然没有得到开发。露西又朝着人属动物前进了一步，但她没有到达抽象思维和语言这一步。而随着能人的出现，这种情况得到了改变。

和露西一样，能人可以站立，这解放了他的双手，让他可以拿取东西，但与露西不同的是，能人利用这种自由去探索他周边的环境。注事情就这么发生了。大约在200万年之前，一个能人中的爱因斯坦，或者居里夫人，或者——更有可能——几个远古的天才各自完成了人类历史上第一个重大发现：如果你拿一块石头以一个倾斜的角度砸在另一块石头上，可以砸出一个有着刀子一般锋利边缘的石头碎片。学会拿石头砸石头听上去并不像是社会或者文化变革的开端。当然，同灯泡、互联网、巧克力曲奇这些发明比起来，制造一块石头刀片显得相形失色。但就如同婴儿蹒跚学步一样，我们在认识和改变自然，提高自己生存机会的路上，迈出了第一步。依靠大脑赋予我们的力量，我们弥补甚而超越了我们身体的局限。



能人

对于一个从未见过任何工具的生物来说，一种可以拿在手上用来切割和剁碎食物的巨大的“人造牙齿”是一个改变生命的发明，而且它确实帮助人类彻底改变了生活方式。露西和她的同类是植食动物；在显微镜下观察能人

牙齿的磨损程度，以及在他们骸骨附近骨头上的屠宰痕迹发现，能人可以使用石质切削工具为他们的食谱添加肉类了。

食素让露西和她的同类经常面临季节性的食物短缺，而能人杂食性的特质则帮助他们弥补了这种短缺。比起植物，肉类的营养成分更为集中，因而肉食动物所需的食物要比植食动物少。另一方面，你也没有必要砍下一朵西蓝花的头吧，但如果你没有什么终极武器，想猎取动物则相当困难，而能人正好缺少这种武器。其结果就是能人只得依靠吃像剑齿虎这样的捕食者吃剩下的残骸来获取肉食。剑齿虎有着强有力的前爪和屠刀一般锋利的牙齿，它们可以杀死自己完全吃不完的大型动物。但对能人来说即使是吃剩肉也非常困难，他们不得不和其他的动物竞争。所以，下次当你为了去你最爱的餐厅吃饭却不得不等上半个小时而苦恼时，试着去想一下我们的祖先吧，他们为了获取食物不得不同游荡的鬣狗群打仗呢。

能人在获取食物的斗争中，锋利的石头帮助他们更快也更容易地把肉从骨头上刮下来，这让他们在争夺食物的战场上与那些天生就有利器的动物比起来不落下风。所以一旦这种方法推广之后，马上就流行开来，在几乎200万年的时间里它们都是人类的工具选项。实际上，正是散布在能人骨骼化石周边的石头给了他们“能人”这个名字，这个名字是由路易斯·里奇和他的同事在20世纪60年代给这一物种取的。此后，在发掘现场经常可以找到大量的石质刀具，如果你不想踩到它们的话，那你走路的时候就必须十分小心了。

* * *

从石头利器到肝脏移植是一段漫长的旅程，但是，能人使用工具的能力反映了他们的大脑已经比人类现存的灵长类近亲的大脑发达得多。例如，倭黑猩猩即使被灵长类研究人员训练多年，也学不会有效地使用能人当年使用的简单的石头工具。近期一项神经影像研究显示，设计、制造和使用工具的能力是我们左脑特有的“工具使用”部分进化发展的结果。令人伤心的是，在少部分临床案例中，这一部分受损的病人的表现比倭黑猩猩好不了多少：他们能认出这些工具，但他们连牙刷或者梳子这样简单的器具也不会使用。

抛开认知能力的提升不说，这种超过200万年的人类物种——能人——只是现代人类的一个影子：相对较小的大脑、矮小的身材、长长的前臂，以及只有动物园管理者才会喜欢的面孔。他们出现之后，没过多久——以地质时间计算——又有其他一些人属物种出现了。他们中最重要的一种——大多数专家认为这是我们直接的祖先——就是直立人，又被称为“站立的

人”，他们起源于180万年前的非洲。注 直立人残留的骨骼显示他们作为一个物种，比起能人来说更接近于现代人，他们不仅有着直立的姿态，而且也更高大——身高接近5英尺（1.52米）——有着修长的四肢和更大的颅骨，可以允许大脑中的额叶、颞叶和顶叶的扩张。

这种新的更大的颅骨对于生育来说也有着暗含的意义。头部的重新设计引起了一些麻烦：女性直立人为了能够顺利生出头部更大、脑容量更大的婴儿，她们的身材必须要比她们的前辈更加高大。结果，女性能人同男性同类相比，体形相当于他们的60%，而女性直立人的平均体重可以达到男性同类的85%。

为了新的大脑，这样的代价值得付出，因为在人类进化的历史上，直立人的出现标志着又一个意外的、伟大的转变。同他们的前辈相比，他们看待世界的眼光和迎接挑战的方式截然不同。特别是，他们是第一种拥有想象力和计划能力、能够制造复杂石质和木质工具的人。他们甚至需要其他工具来加工斧子、刀和切割工具。今天，我们要感谢我们的大脑赋予我们创造科学、技术、艺术以及文学作品的能力，但对于人类这一物种来说，我们大脑设计复杂工具的能力却更加重要——它让我们在生存竞争中拥有了一种优势。

直立人使用他们先进的工具进行捕猎，而不用再去吃别的动物剩下的残羹冷炙，这大大增加了他们食谱中肉类的分量。如果今天的烹饪书在讲述如何做小牛肉时说，“先猎杀一头小牛”，大多数人会宁愿选择书中其他的烹饪法，比如做“快乐茄子”。但在人类的进化史上，捕猎技能是一次巨大飞跃，人类可以获取更多的蛋白质，而不必像过去那样为了生存需要摄入大量的植物性食物。直立人或许是第一个学会摩擦生热，并发现热量可以生火的物种。有了火，直立人可以做其他动物无法做到的事情：在严寒中取暖，否则就有可能会被冻死。

当我在肉类柜台“狩猎”时，我使用工具的念头是去叫一个木匠砸开柜台，这个念头让我深感欣慰，我也是由熟悉这个行当的前辈们进化而来的——尽管他们有着突出的前额和能够咬穿码尺的利齿。更重要的是，大脑所取得的这些新成就使直立人可以从非洲扩散到欧洲和亚洲，作为一个物种存在了超过100万年。

* * *

如果智力水平的提升允许我们制造复杂的捕猎和切割工具的话，这也同样催生了一个新的紧迫需求——在大草原上追踪和围捕移动迅速的大型动物时最好能有一群猎手。所以，在我们组建全明星篮球队或者足球队很久很久之前，我们的祖先为了猎取羚羊和瞪羚，就已经进化出足够的社交智慧

和计划技巧去协调和组织。因此，直立人新的生活方式更青睐那些有良好沟通和计划能力的人。在这里我们又看到了现代人类的天性来源于非洲大草原的证据。

大约在直立人统治末期，或许在50万年之前，直立人进化出了新的物种——智人——他们有着更强大的大脑。那些早期的或者“古老”的智人依然不是我们现代意义上的人类：他们强壮有力，头骨大而厚实，但脑容量仍然不如我们的大。从解剖学上看，现代人类属于智人的一个分支，他们在公元前20万年左右在智人中出现。

我们曾经也处于灭绝的边缘：最近一项由人类基因学家对DNA（脱氧核糖核酸）的分析发现，大约在14万年前左右，一场灾难——或许由气候变化引发——导致大批现代人属物种死亡，他们绝大多数生活在当时的非洲。在那一时期，人类亚种的数量锐减至只有数百人——我们成为今天所谓的“濒危动物”，就像是山地大猩猩或者蓝鲸。艾萨克·牛顿、阿尔伯特·爱因斯坦以及其他你曾经听说过的人，还有生活在今天这个世界上的数以亿计的人，都是这几百个存活下来的智人的后裔。注

死里逃生或许显示这个新的亚种尽管有着较大的大脑，但他们依然没有聪明到能在长期的生存斗争中胜出。但接下来我们又经历了另外一次转变，它赋予我们新的惊人的思考能力。这一转变看起来不像是由我们的肢体变化引发的，甚至也不是我们大脑构造改变引发的。实际上，它似乎和我们大脑运行方式的改变有关。然而它就这么发生了，这一巨变让我们这个物种产生了科学家、艺术家、神学家，以及众多如我们一般思考的人。

人类学家把那次最终的思维转变称为“现代人类行为”的发展。他们所说的“现代人类行为”并不是指购物或者边看体育比赛边喝酒精饮料；他们指的是那些复杂的符号化思考行为，正是这种思维活动最终促使人类文化产生。对于这一行为是在什么时候发生的尚存有争议，但人们普遍接受的转变时间是在公元前4万年左右。注

今天我们把自己这个亚种称为智人，或者“聪明的人”。（当你可以为自己的物种挑选名字时，当然得选这样的了。）但是那些促使我们大脑变得更大的转变是要付出代价的。从能量消耗这个角度看，大脑是现代人类身体中第二昂贵的器官，仅次于心脏。注

大自然并不是简单地把这个有着高昂运行成本的大脑直接送给我们，她本来可以赋予我们更强壮有力的肌肉，同大脑相比，肌肉每单位的能量消耗只有大脑的1/10。然而大自然并没有选择让我们变得强壮来适应它。注

人类并不是特别强壮，我们也并不是最敏捷的物种。黑猩猩和倭黑猩猩，这些最接近人类的近亲，为了适应它们的生存环境，进化出了超过1 200磅（544.31千克）的拉扯力量，以及可以轻松撕开坚果坚硬外壳的锋利牙齿，而我呢，吃爆米花都是个问题。

人类并没有强有力的肌肉组织，但我们却拥有超大的头盖骨，这使我们成为低效的食物能量使用者——我们的大脑只占身体重量的2%，却要消耗身体摄入能量的20%。所以其他动物适应了丛林或草原上的艰苦环境，而我们看起来更适合坐在咖啡馆里喝摩卡咖啡。当然坐也不可轻视。在我们坐着的时候，我们在思考，我们在质疑。

德国心理学家沃尔夫冈·科勒在1918年出版了一本书，这本注定要成为经典的书是《类人猿的智力》。这本书源自他担任普鲁士科学院设立在加那利群岛上的特纳利夫岛研究站的主任时对黑猩猩进行的一系列实验。科勒对黑猩猩解决问题的方式很感兴趣，比如怎样才能拿到那些放在它们够不着的地方的食物，他的实验显示了人类和其他灵长类动物有着共同的思考天赋。但如果有人拿人类的行为和黑猩猩做对比，他的书也对那些弥补我们身体缺陷的人类天赋多有展示。

科勒的一个实验很能说明问题。他把一根香蕉挂在天花板上，然后观察黑猩猩是如何学会把箱子堆起来，爬上去拿到香蕉的，但这些黑猩猩似乎并不了解这一行为所代表的力量。比如，它们有时会把箱子放在边缘上，或者由于地板上放了石块所以箱子总是会倒下来时，它们不会想到去把石块挪走。[注]

在一个经过改进的实验中，实验人员把黑猩猩和3~5岁的人类儿童放在一起，教他们把积木摆放成L形，摆好就会得到奖励。实验人员偷偷地用不平的积木换掉原来的积木；当黑猩猩和小孩试图把它们堆起来时，它们总是会倒下来。黑猩猩坚持了一会儿，为了得到奖励它们一次次地尝试和犯错，最后都失败了——但它们却没有停下来去检查那些不平的积木。人类的小孩在这个经过改进的实验中也失败了（实际上这是无法完成的），但他们并不是简单地放弃了事。他们会检查这些积木，试图找出问题所在。[注]从很小的年纪开始，人类就开始寻求答案；我们寻求对周边环境理论上的理解；我们会问“为什么”。

任何与小孩有过接触的人都知道他们最爱问“为什么”。20世纪20年代，心理学家弗兰克·洛里默正式宣布：他对一个4岁的小男孩持续观察了4天，并记下了在那段时间这个孩子提出的所有问题。[注]一共有40个问题，比如：为什么水壶有两个把手？为什么我们有眉毛？我最喜欢下面这个问题：妈妈，你为什么不长胡子呢？全世界的小孩在很小的时候都提出了他

们第一个问题，尽管他们还在牙牙学语，说不出一句完整的话。提问这一行为对于我们这个物种是如此重要，以至于我们有一个普遍的指示信号：任何语言，无论是有声调的还是没声调的，在提问的时候都有一个相似的升调。注某些宗教会将提问视为最高等级的理解，在科学和工业领域，提出正确的问题是一个人能拥有的最重要的天赋。从另一方面讲，黑猩猩和倭黑猩猩可以学会通过简单标志和它们的训练员进行交流，甚至可以回答问题，但它们从不会向他们提出问题。

它们有着强壮有力的身体，但它们却不会思考。

* * *

如果人类天生就拥有认识世界的渴望，那我们也应该天生就拥有——或者在后天很早的时候学会的——对于物理世界运行规律的强烈兴趣。我们似乎天生就能理解事件是相互作用的，经过上千年的努力，我们对这种法则最初级的直觉感受最终被艾萨克·牛顿所发现。

在伊利诺伊大学儿童认知实验室，科学家在过去30年一直对婴儿的身体直觉进行研究。他们让孩子和他们的母亲坐在一个小舞台或桌子上，然后观察婴儿对于舞台上发生的事情的反应。科学家想了解的问题有：关于物理世界，这些幼童知道什么？他们是什么时候知道的？他们发现，对于物理的运行方式拥有某种感觉是人之所以是人的一个本质属性，即使在儿童时期。

在一项系列研究中，6个月大的婴儿坐在一条水平轨道前面，这条轨道连接着一个倾斜的坡面。注在坡面的底部，研究人员放了一个固定在轮子上的玩具昆虫。在坡面的顶部有一个圆筒，一旦这个圆筒被松开后，幼童就会兴奋地看着它往下滚，最后撞上那个昆虫，虫子则会沿着水平轨道滚出好几英尺远。接下来的部分让研究人员非常兴奋：如果他们重新设计实验装置，在斜坡的顶部放置了个大小不同的圆筒，那么这个婴儿是否会预测出，经过撞击后这个虫子滚动的距离和圆筒的大小是成正比的呢？

当我听说过个实验之后，我脑子里想到的第一个问题是：别人怎么知道这个婴儿在预测什么？就我本人而言，我很难理解我自己的孩子在想什么，而且，他们现在都十二三岁了，他们可什么话都讲得出来。当他们还只会微笑、扮鬼脸、流口水的时候，我可没有预料到今天这种情况。事实是，当你在一个婴儿身边待得久了，你很自然地就会根据他的面部表情来判断他在想什么，但你的直觉是否正确，目前很难获得科学验证。当你看到一个婴儿像话梅一样皱起小脸时，这是因为严重的胀气引起的疼痛呢还是因为广播里说股票市场下跌500点让他感到不安呢？如果真是那样，我知道

我自己的表情应该是什么样的，至于婴儿，他们的表情我们都经历过。说到判断一个婴儿预测什么的时候，心理学家有一个专门的应用软件。他们给婴儿看一组东西，然后计算他们盯着看的时间。如果故事不是按照婴儿期待的那样展开，他们就会盯着看，故事越让人意外，他们盯着看的时间就越长。

在斜坡实验中，心理学家安排婴儿观看第二次撞击，一半婴儿看到的撞击用的圆筒比之前的更大，而另外一半婴儿观看的撞击使用的圆筒比之前的要小。然而在两次实验中，狡猾的研究人员人为地让那个虫子滚动得比第一次撞击还要远——实际上，一直滚到了轨道的末端。观看用更大的圆筒撞击的婴儿，即使虫子被撞出更远，也没做出特别的反应。但可以肯定的是，当孩子们看到较小的圆筒把虫子撞出更远的时候，他们盯着这个虫子看了很长时间，他们当时的表情是绞尽脑汁想知道这到底是怎么发生的。

知道大的撞击比起小的撞击可以让虫子滚得更远并不能让你成为艾萨克·牛顿式的人物，但正如这个实验展示的那样，人类确实有一个内在的对于物理世界的理解，有一种对环境的复杂的直觉感受，这种感受满足了我们内在的好奇心，比起其他物种来说，它在人类身上发展得更为充分。

在几百万年的时间长河中，人类不断地进化和进步，拥有了更为强大的头脑，作为个体去努力学习我们可以从这个世界学到的一切。如果我们想要理解自然，现代人类头脑的进化是必不可少的，但这远远不够。所以在接下来的一章，我们将讲述人类是如何开始对周边世界提出问题，以及是如何通过集思广益来回答这些问题的故事。这就是人类文化发展的故事。

---

1. 对于那些喜欢精确度胜过水果的人，我应该再加上一句：能人的大脑只有我们的一半大。

2. Maureen A. O’Leary et al., “The Placental Mammal Ancestor and the Post–K-Pg Radiation of Placentals,”*Science* 339 (February 8, 2013): 662–67.

3. Julian Jaynes,*The Origin of Consciousness in the Breakdown of the BicameralMind* (Boston: Houghton Mifflin, 1976), 9.

4. For the story of Lucy and her significance, see Donald C. Johanson,*Lucys’Legacy* (New York: Three Rivers Press, 2009). See also Douglas S. Massey,“A Brief History of Human Society: The Origin and Role of Emotion in Social Life,”*American Sociological Review* 67 (2002): 1–29.

5. B. A. Wood, “Evolution of Australopithecines,” in*The CambridgeEncyclopedia of Human Evolution,* ed. Stephen Jones, Robert D. Martin, andDavid R. Pilbeam (Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1994), 239.

6. Carol. V. Ward et al., “Complete Fourth Metatarsal and Arches in the Foot ofAustralopithecus afarensis,”*Science* 331 (February 11, 2011): 750–53.

7. 4 × 106 years ago = 2 × 105 generations; 2 × 105 houses × 100-foot-wide lot foreach house ÷ 5,000 feet per mile = 4,000 miles.

8. James E. McClellan III and Harold Dorn,*Science and Technology in World History,* 2nd ed. (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2006), 6–7.

9. Javier DeFelipe, “The Evolution of the Brain, the Human Nature of CorticalCircuits, and Intellectual Creativity,”*Frontiers in Neuroanatomy* 5 (May2011): 1–17.

10. Stanley H. Ambrose, “Paleolothic Technology and Human Evolution,”*Science*291 (March 2, 2001): 1748–53.

11. “What Does It Mean to Be Human?” Smithsonian Museum of NaturalHistory, accessed October 27, 2014, www .humanorigins.si.edu.

12. Johann De Smedt et al., “Why the Human Brain Is Not an Enlarged Chimpanzee Brain,” in*Human Characteristics: Evolutionary Perspectives on Human Mind and Kind,* ed. H. Høgh-Olesen, J. Tønnesvang, and P. Bertelsen(Newcastle upon Tyne: Cambridge Scholars, 2009), 168–81.

13. Ambrose, “Paleolothic Technology and Human Evolution,” 1748–53.

14. R. Peeters et al., “The Representation of Tool Use in Humans and Monkeys:Common and Uniquely Human Features,”*Journal of Neuroscience* 29(September 16, 2009): 11523–39; Scott H. Johnson-Frey, “The Neural Bases of Complex Tool Use in Humans,”*TRENDS in Cognitive Sciences* 8 (February 2004): 71–78.

15. Richard P. Cooper, “Tool Use and Related Errors in Ideational Apraxia: The Quantitative Simulation of Patient Error Profiles,”*Cortex* 43 (2007): 319;Johnson-Frey, “The Neural Bases,” 71–78.

16. Johanson,*Lucy's Legacy,* 192–93.

17. Ibid., 267.

18. András Takács-Sánta, "The Major Transitions in the History of Human Transformation of the Biosphere,"*Human Ecology Review* 11 (2004):51–77. Some researchers believe that modern human behavior emerged first earlier, in Africa, and then was brought to Europe in a "second out-of-Africa"migration. See, for example, David Lewis-Williams and David Pearce,*Inside the Neolithic Mind* (London: Thames and Hudson, 2005), 18; Johanson,*Lucy's Legacy,* 257–62.

19. Robin I. M. Dunbar and Suzanne Shultz, "Evolution in the Social Brain,"*Science* 317 (September 7, 2007): 1344–47.

20. Christopher Boesch and Michael Tomasello, "Chimpanzee and Human Cultures,"*Current Anthropology* 39 (1998): 591–614.

21. Lewis Wolpert, "Causal Belief and the Origins of Technology,"*Philosophical Transactions of the Royal Society A* 361 (2003): 1709–19.

22. Daniel J. Povinelli and Sarah Dunphy-Lelii, "Do Chimpanzees Seek Explanations? Preliminary Comparative Investigations,"*Canadian Journal of Experimental Psychology* 55 (2001): 185–93.

23. Frank Lorimer,*The Growth of Reason* (London: K. Paul, 1929); quoted in Arthur Koestler,*The Act of Creation* (London: Penguin, 1964), 616.

24. Dwight L. Bolinger, ed.,*Intonation: Selected Readings*. (Harmondsworth,U.K.: Penguin, 1972), 314; Alan Cruttenden,*Intonation* (Cambridge, U.K.:Cambridge University Press, 1986), 169–17.

25. Laura Kotovsky and Renee Baillargeon, "The Development of CalibrationBased Reasoning About Collision Events in Young Infants,"*Cognition* 67(1998): 313–51.

3.文化

每天早上我们照镜子时都会看到其他动物无法看到的形象：我们自己。有些人会给镜子里的自己一个微笑或者一个飞吻；有些人则会匆匆忙忙地化妆或刮胡子，以免使自己看上去蓬头垢面。不管是哪种，从动物的角度来看，人的反应都是很古怪的。我们之所以会有这种举动，是因为在人类进化的道路上我们有了自我认知的能力。更重要的是，我们对于在镜子中看到的自己的形象开始有了一个清晰的认识，我们到时候会长皱纹，会在让人尴尬的地方长出毛发，最糟糕的是，我们会不复存在。也就是说，我们开始觉察到死亡隐约的喻示。

大脑是我们思考的硬件，它是人类为了生存所需进化出来的具备形象化思考、质疑和推理能力的器官。一旦拥有了这个硬件，你就可以用它来做很多事情。随着智人想象力的巨大提升，意识到自己会死促使我们的大脑开始思考关于存在的问题，比如“是谁在管理宇宙”。这并不是一个有关科学的问题，然而正是这类问题引导着人类走上探寻诸如“什么是原子”之路，以及更多私人性质的问题，比如“我是谁”以及“我能改变环境让它适应我吗”。当人类脱离动物界并开始追问这些问题的时候，我们作为一个会思考和质疑的物种又向前迈出一步。

人类大脑思维过程的转变促使人类开始思考这些问题，这个过程或许酝酿了成千上万年，它开始的时间——很有可能在4万年之前或者就在那个时候——就是从人类亚种的行为开始表现得像个现代人的时候。直到大约12 000年前，在最后一个冰河世纪的末期，这个过程开始大爆发。科学家把这一时期之前的200万年称为旧石器时代（Poleolithic era），接下来的7 000年或者8 000年称为新石器时代（Neolithic era）。这些名字来源于希腊语，*palaio*意为“旧”，neo意为“新”，lithos意为“石头”——换句话说，不管是旧石器时代还是新石器时代，它们主要的特征就是石质工具的使用。尽管我们把从旧石器时代到新石器时代的巨大转变称为“新石器革命”，但它并不和石质工具的使用有关。它和我们思考的方式、我们所提出的问题，以及我们认为重要的存在问题有关。

* * *

旧石器时代的人类常常会迁徙，就像我的青少年时期一样，他们追随食物而迁徙。女人收集植物、种子和鸟蛋，男人狩猎和捡拾动物尸骸。这些流浪者随着季节迁移——甚至天天如此——他们没有多少财产，逐水草而居，忍受着艰苦的自然条件，一切都听天由命。即便如此，一平方英里

（2.59平方千米）的土地产出也仅够一人所需，在旧石器时代的绝大多数时间里，人类生活在游荡的小群体当中，通常不满100人。“新石器革命”这个说法于20世纪20年代提出，主要用来描述人们从游荡式的生活向一种新的生活方式的转变，在这种新的生活方式中，人们开始在小村落中定居下来，一般有十几或二十几户人家，他们开始从搜集食物转向生产食物。

伴随着生活方式转变而来的是积极的改造自然环境的活动，人类不再像过去那样被动地适应环境。人类不再简单地依靠土地产出过活，那些生活在小小的聚居地的人类开始收集那些没有实际价值的原材料，把它们做成有价值的物品。比如，他们使用木材、泥砖和石头建造住所；使用自然形成的铜制造工具；把树枝编成篮子；从亚麻和其他植物以及动物身上取得纤维做成线，然后用这些线做成衣服，与之前人们所穿的兽皮相比，这些衣服更轻，更透气，也易于清洗；通过塑形和烤制，把陶土做成瓶瓶罐罐，用来做饭或者储藏多余的食物。

像陶罐这类物品的发明，它们表面上的价值看起来也就是人们意识到它足够坚硬，可以装水。事实也的确如此，直到最近，许多考古学家认为新石器革命仅仅是人们为了让生活变得更容易一些而做出的改变而已。在大约10 000年至12 000年前最后一个冰河期的末尾，气候变化导致许多大型动物灭绝，也改变了其他动物迁徙的方式。据推测这种气候变化给当时人类在食物来源上造成了很大的压力。还有人推测说正是在那一时期，人口的数量已经多到单纯的狩猎和采集食物满足不了生存所需的地步。从这个意义上讲，定居的生活、复杂的工具和其他的举动，都是人们对环境变化做出的反应。

但这个理论也存在问题。首先，缺乏营养和疾病应在他们的骨头和牙齿上留下了印记。然而，在20世纪80年代，人们对一具新石器革命之前的骨骼进行研究时并没有发现这样的印记，这说明那个时期的人类并不缺乏营养。实际上，古生物证据显示，同之前那些四处觅食的人类相比，旧石器时代早期的农民有更多的脊柱问题、更糟糕的牙齿、更多的贫血、更缺乏维生素——他们在很年轻的时候就会死去。更重要的是，人类是逐步开始从事农业生产的，而并非什么大面积气候灾难的结果。此外，在许多定居点遗址中并没有发现种植植物或者驯养动物的迹象。

我们倾向于认为人类觅食的生活方式是为了生存所需，就像电视真人秀里，把饥饿的参与者扔进热带雨林里，他们不得不靠吃带翅昆虫和蝙蝠粪便为生。如果那些觅食者能够从家得宝和种植芜菁甘蓝得到农具和种子，他们的生活难道不会更好吗？并不尽然，在澳大利亚和非洲生活的捕猎者和采集者在20世纪60年代之前还不曾接触过外部的世界，对这群人的研究

发现，数千年之前的游牧社会很有可能过着“充裕的物质生活”。

典型的游牧生活是这样的，人类在某一地做短暂的停留，直到这一地区能够轻松获取的食物资源消耗殆尽才离开。没有了食物，游牧者就会继续迁徙。因为所有的财产都要随身携带，所以游牧民族更青睐那些体积小的物品，他们对没有多少物质商品的生活很满意，一般说来他们也没有财产权或者所有权的概念。游牧文化的这些特征在19世纪初期研究他们的西方人类学家眼里看起来贫困和缺乏财富。但一般情况下，游牧民族并不需要为了生存费太大气力去获取食物。事实上，对非洲原住民桑人（又称布须曼人）的研究显示，他们获取食物的效率要比第二次世界大战前欧洲农民的效率更高。19世纪至20世纪中期针对游牧采集民族的大范围研究显示，一个牧民平均每天只需要工作2~4个小时。即使在非洲干旱的杜比地区，在每年降雨量只有6~10英寸（15~25厘米）的条件下，人们也可以在当地找到种类繁多的丰富食物来源。相较而言，原始的农耕活动需要长时间的辛勤劳作——农民必须搬走农田里的石头，清除灌木，使用最原始的工具去翻开坚硬的地表。

考虑到这些情况，我们会发现解释人类为何定居的旧有理论并不全面。相反，许多人相信新石器革命首先并不是出于什么现实的考虑，而是一种精神和文化上的变革，这种变革由人类精神生活的不断发展引发。支持这一观点的证据或许是现代考古史上最惊人的发现，这一伟大的发现证明人类对待自然的新方式不是定居生活发展的结果，而是先于定居生活。这一考古史上伟大的丰碑被称为哥贝克力石阵，在土耳其语中意思是“长着大肚子的山丘”，因为这就是被发掘之前它看起来的样子。

* * *

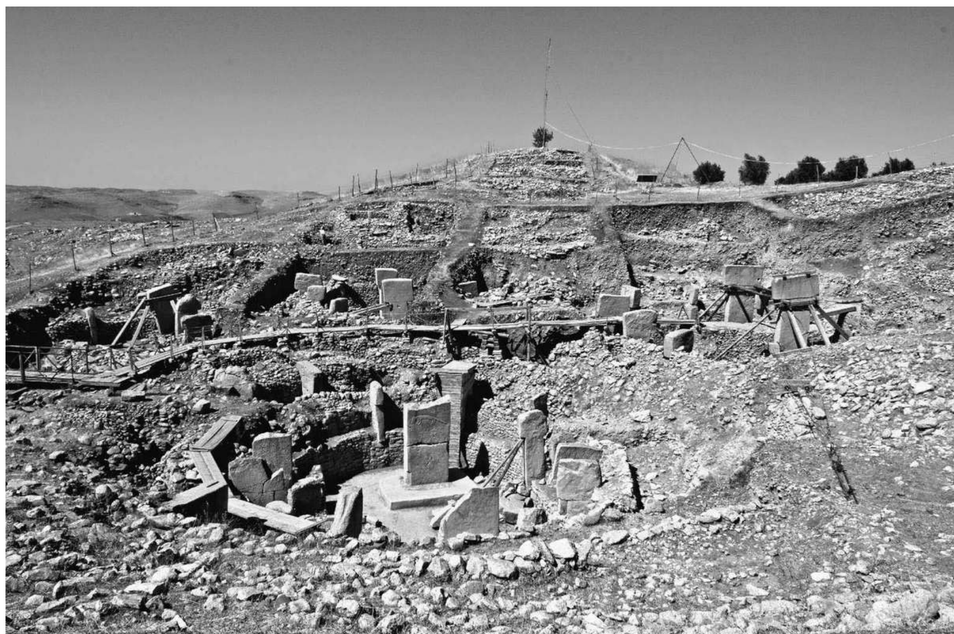
哥贝克力石阵位于现今土耳其东南部乌尔法省的一座小山丘的顶峰。这是一座宏伟的建筑，建于11 500年前——比埃及大金字塔早7 000年——不是由新石器时代的居民建造，而是由采集捕猎民族建造，那个时候他们还没有完全放弃游牧式的生活。这个建筑最惊人之处在于当初建造它的初衷。哥贝克力石阵看上去就是一个宗教圣殿，这可比《希伯来圣经》的出现早上1 000年。

哥贝克力石阵的柱子以直径65英尺（19.81米）的环形排列。每一个环形的中间有两根T形的柱子，看起来很明显就是长着椭圆形脑袋、修长躯干的类似人一样的形象。它们中最高的有18英尺（5.49米），建造这个建筑需要搬运大量的石料，有的甚至重达16吨。建造它的时候，金属工具还没有出现，轮子还没有被发明出来，人类还没有学会驯养野生动物。更重要的是，与后来人类建造的宗教建筑不同，建造哥贝克力石阵的时候人类还

没有居住在城市里，无法提供大量的有组织的劳力。正如《国家地理》所言："发现哥贝克力石阵竟然是由狩猎采集民族建成时的感觉就像是发现有人用X-Acto牌美工刀在地下室造出一架波音747飞机一样。"

这一纪念碑是在20世纪60年代最先由芝加哥大学和伊斯坦布尔大学的人类学家发现，他们当时正在对这一地区进行考察。他们看到一些掩藏在泥土下面的破碎的石灰岩石板，但以为这只是一个废弃的拜占庭时代的公墓遗迹，也就没有在意。人类学研究团体对此并没有产生多大的兴趣。转眼30年过去了。1994年，当地一个农民在耕地的时候，他的犁碰到石头上，后来发现这块石头是掩埋在地下的巨大石柱的顶端。一位名叫克劳斯·施密特的考古学家决定过去看看。他在当地工作，之前也读到过芝加哥大学的研究报告。"第一次见到它的短短一分钟时间里，我脑子里出现两个选择，"他说，"要么转身离开，不告诉任何人，要么下半辈子就在这里工作。"他选择了后者，他一直在那个遗址工作，直至2014年去世。注

因为建造哥贝克力石阵的时候人类还没有发明文字，所以在遗址里没有发现散落的圣典，因而也就无法通过破译文字来了解在这个遗址上举行的宗教仪式。然而，通过对比后期出现的宗教遗址和活动，我们可以认定哥贝克力石阵是一个祭神场所。比如，在哥贝克力石阵石柱上雕刻着各种各样的动物，但与旧石器时代洞穴里的绘画不同，它既没有描绘哥贝克力石阵建造者生前维持生存所从事的活动，也没有描绘任何与打猎或者日常生活有关的符号。相反，柱子上雕刻着许多危险的生物，例如狮子、毒蛇、野猪、蝎子，还有一种肋骨明显、貌似豺狼的野兽。这些都被认为是充满象征意义或者神秘感的主题，里面的动物后来都与宗教祭祀有关。



哥贝克力石阵遗址

造访哥贝克力石阵的古人应该是怀着极大的虔诚之心而来的，因为建造它的地方周边什么都没有。实际上，没有人发现过这里曾经有人类生活的迹象——没有水源、房屋，或者炉灶。相反，考古学家只发现数以千计的瞪羚和野牛的骨头，看上去好像有人在远方打完猎，把它们当作食物带到了这里。去哥贝克力石阵仿佛是一次朝圣之旅，有证据显示它吸引的游牧的狩猎采集者最远来自60英里（96.56千米）以外的地区。

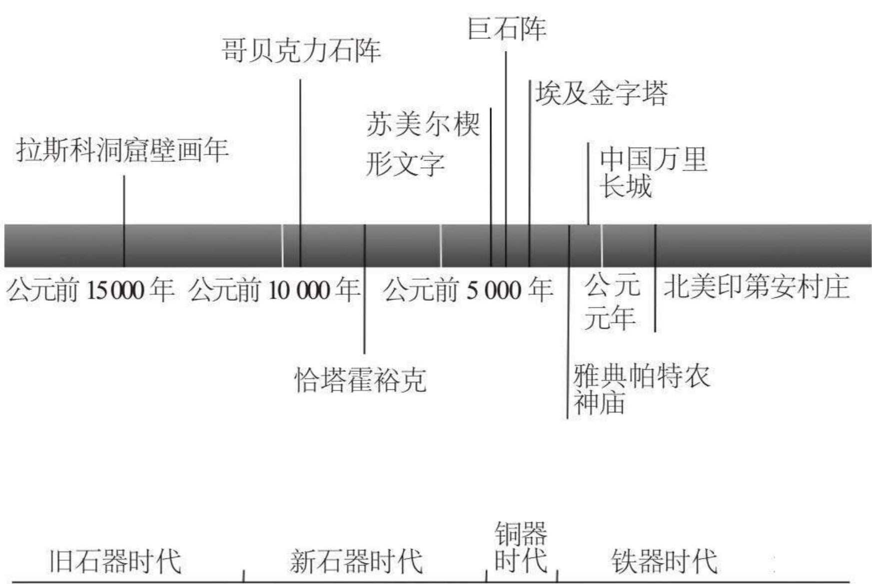
哥贝克力石阵“显示社会文化的转变要先于农业活动发生”，斯坦福大学考古学家伊恩·霍德说。换句话说，群体宗教仪式的出现看上去更像是人类选择定居生活的重要原因，宗教中心吸引着游牧民族生活在一个紧密的圈子里，基于共同的信仰和价值体系，最终形成了村落。注哥贝克力石阵建造的时代，剑齿虎注依然在亚洲的大地上游荡；弗洛里斯人，我们最后的非智人人类亲属，一种3英尺（0.91米）高，像霍比特人一样的猎手和工匠距离灭绝的时间也只有几个世纪。然而，哥贝克力石阵的古代建造者们似乎不是为了找寻关于生活的实际问题的答案，而是为了寻找精神上的答案。“这是一个非常好的例子”，霍德说，哥贝克力石阵“是复杂的新石器时代社会真正的起源”。注

某些动物通过解决简单问题获取食物，某些则使用简单的工具。但有一个

行为，除了人类之外再没有从其他任何动物身上观察到过，哪怕是最初级的形式，这一行为就是试图去理解自身的存在。所以，生活在旧石器时代晚期和新石器时代初期的人类将他们的注意力从如何存活下去转向了关于他们自身和环境的“不重要的”事情上，这在人类思想发展史上可是极具意义的一步。假如哥贝克力石阵是人类的第一座教堂——或者至少是我们目前知道的第一座教堂——它在宗教史上应该占据一个神圣的位置，同时它在科学史上也有一席之地，它反映了在那个时代，人们存在意识的巨大提升，他们开始花费大量的精力去思考一些宏大的关于宇宙的问题。

* * *

大自然耗费数百万年才使人类的大脑有能力提出关于自身存在的问题，而一旦人类具备了这种能力，我们这个物种就能够在很短的时间里产生重塑我们生活和思考方式的文化。新石器时代的人类开始在小村落中定居，他们通过辛勤的劳作最终换来了大量的食物，人口数量也从每平方英里1人猛增到每平方英里100人。注



最引人注目的新石器时代村落是建于公元前7 500年的恰塔霍裕克，它位于土耳其中部的平原，处在哥贝克力石阵的西部，相距只有数百英里。注对在这里发现的动植物残骸的分析显示，当地的居民猎杀野牛、野猪、野马，采集植物根茎、野草、橡子以及开心果，但很少有人从事农业

生产。更让人惊讶的是，在他们的居住地发现的工具显示，这些人可以自己建造和维修房屋，创作自己的艺术作品。看上去他们好像也没有将生产劳动进行分工。如果是规模很小的游牧民族聚集地，这听起来不算那么反常，但当时在恰塔霍裕克生活着8 000多人——大约有2 000户家庭——按照一位考古学家的说法，他们四处走动，“忙自己的事情”。

正因如此，考古学家并不认为恰塔霍裕克以及类似的新石器时代村落是城市，甚至连城镇也算不上。人类的第一座城市还得再过好几千年才会出现。村庄和城市之间的差别并非仅仅在于二者的面积。城市建立在人口之间的关系之上，而这些关系则基于生产和分配方式。城市里可以找到劳力，这意味着个人和家庭可以依靠他人获取某种商品和服务。城市通过集中人们所必需的各种商品和服务的分配方式，把个人和家庭从凡事都必须亲力亲为的困境中解放出来，这又使得其中一部人可以从事更为专业化的工作。比如，生活在某个城市周边乡村的农民将多余的食物卖给这个城市的居民，使那些原本需要通过采集（或者耕种）才能获取食物的人得到了解放，可以转而从事其他职业。他们变成了手工艺人，或者牧师。但在恰塔霍裕克，尽管这里的居民房子紧密相连，但是发掘出土的工艺品显示这些家庭都或多或少地从事着独立的生产活动。

如果每一个大家族必须自给自足——如果你可以不用从肉贩那里买肉，不需要水管工修水管，也不用把进了水的手机拿到距离最近的苹果专卖店去换还假装你的手机没有掉进马桶里——那为什么大家要住在一起并形成村落呢？使人类聚集到像恰塔霍裕克这样的聚居地的原因似乎与把新石器时代人类吸引到哥贝克力石阵的原因是一样的：共有文化和共享的精神信仰的开端。

对死亡的思索成为这些刚刚萌发的文化的特征。比如，在恰塔霍裕克我们可以看到一种新的死亡文化的证据，这与那些游牧民族的文化有很大的不同。在游牧民族漫长的跋山涉水的旅途中，他们无法携带病人或身体虚弱的人。所以在迁徙途中，将那些虚弱得跟不上脚步的老人留在身后就成为游牧民族一种很正常的行为。而恰塔霍裕克和近东其他被遗忘的村落的居民却有着完全相反的习俗。这些大家族经常保持着亲密的关系，不仅在生活上，也在死亡上——在恰塔霍裕克，人们会将死者埋在家里的地下。夭折的儿童有时候则会被掩埋在进入房间的门槛下面。仅在一栋较大的建筑物下面，发掘队就发现了70具骸骨。在某些情况下，因仪式需要，这些居民会在死者入土一年之后打开坟墓，用刀将死者的头割下来。

如果恰塔霍裕克的居民担心死亡，他们同样对于人类的优越性有一种全新的感受。在大多数狩猎采集社会，人们给予动物极大尊重，仿佛猎人和猎

物是伙伴。猎手们不会试图去控制他们的猎物，反而和这些即将被他们杀死的动物形成了某种友谊。然而在恰塔霍裕克，壁画描绘着人类戏弄和引诱公牛、野猪和熊的画面。人类不再将动物视为伙伴，反而视自己为动物的统治者，可以像使用树枝编篮子一样去使用这些动物。[注]

这种新的态度最终促使人类开始驯养动物。[注]在接下来的2 000年里，绵羊和山羊被驯化了，接着是牛和猪。最初，人类打猎是有选择性的——这样可以让动物种群在年龄和性别上保持平衡，人类也会保护它们免受捕食者的袭击。然而随着时间的推移，人类开始全面接手管理动物生活的方方面面。因为被驯养的动物不再依靠自己觅食，它们逐渐进化出了新的体征——更温顺的习性、更小的大脑以及更低的智商。植物也一样受到人类的控制——小麦、大麦、扁豆、豌豆，以及其他作物——它们不再是采集者的关切，而是种植者的关切。

农业和驯养动物的发明促使人类的智力又有了新的飞跃，人类开始思考如何最大化地提高这些活动的收益。人类现在有了学习和利用自然规律和法则的动力。知道动物何时产仔，如何使植物长势更好，这都是有用的知识。这就是科学的开端，但由于缺乏科学方法或更好的逻辑推理，魔法和宗教观念混合在一起，替代了基于经验的观察和理论，比起今天纯粹的科学研究，它有着更加实用的目的：帮助人类施力于大自然。

当人类开始提出关于自然的新问题时，新石器时代聚居地的大扩张提供了回答这些问题的新途径。因为对于答案的寻求不再属于个人或者小群体的行为，人们可以从许多伟大的头脑中吸取经验。所以，尽管这些人早已放弃了打猎和采集，但他们现在加入了采集和捕猎观点和知识的大军中来。

* * *

当我还是研究生的时候，我为自己的论文选择的研究课题是，发明一种方法来为无法解答的描述在中子星外部强磁场中氢原子行为的量子等式找到一个近似的解答办法。中子星是目前所知宇宙中一种密度最大、体积最小的星星。我也不清楚自己为何要选择那个研究课题，我的论文导师也深有同感，他很快就对这个课题失去了兴趣。接下来我花了整整一年的时间来寻找各种新的近似方法，但都被证明并不比现有的方法能更好地解决我的问题，因此我想借此获得学位的努力也就毫无价值了。某一天我从办公室出来，在穿过大厅时和一位博士后研究人员聊了起来。当时他正在研究一种理解夸克行为的新方法，夸克是一种初级物质，有三种“颜色”。(研究夸克时使用的颜色定义和我们日常生活中所说的“颜色”没有丝毫关系。）这种观点是想象出（按照数学理论）一个拥有无限种颜色，而不是只有三种颜色的世界。当我们在聊夸克这个和我做的工作没有任何关系的话题时，

一个想法在我的脑子里冒了出来：我可不可以通过假设我们不是生活在一个三维世界，而是生活在一个有无限维度的世界里来解答我的问题呢？

如果这个奇怪的想法听上去有些不着边际，那是因为它本来就不着边际。但翻遍数学理论，我们奇怪地发现，由于这个问题是基于现实世界的，所以我无法找到解决方法；但如果我用无限维度来重新表述，我就能够找到解决方法。一旦找到了解决办法，为了顺利毕业，我“所有”需要做的事情就是想出一个方法来修正这个答案，以描述这个我们实际生活的三维空间。

这个方法被证明非常管用——现在我在一个信封背面进行计算得出的结果比其他人使用复杂的电脑运算得出来的还要精确。一年的努力却毫无成果，我只得用几星期的时间来完成我关于“1/N展开”的博士论文。在接下来的一年，我和那位博士后写出了一系列论文，将这种概念应用到其他情形和原子中。[注]最终诺贝尔化学奖得主杜德利·赫斯奇巴奇在一份期刊上看到了我们的方法，期刊有一个让人兴奋的名字：《今日物理》。他将我们这种方法重新命名为“维度排列”，并将其应用到他所研究的领域。[注]不到10年，甚至有一个学术研讨会专门来讨论这个方法。我讲述这个故事的目的不是为了告诉大家有人选择了一个棘手的研究课题，耗费一年一无所获，最终还能收获一个有趣的发现，我想向读者展示的是人类求知和创新的奋斗并不是一系列孤立的个人行为，而是一种饱含冒险精神的合作，是一种需要已经定居下来的人贡献他们的脑力去互动才能取得成功的社会活动。

在过去和现在都可以找到这种例子。在数学研究领域有太多孤独的天才，他们要么提出了改变我们理解世界方式的理论，要么在技术领域展现了让人惊叹的创造力，但他们毫无例外都属于科幻小说中的人物。比如，提出了马力这个概念的詹姆斯·瓦特，他的名字被用来命名电的单位：瓦特。据说他是在观察到不断从茶壶中喷出的蒸汽时突然产生了制造蒸汽机的点子。可实际上，他是在修理一个在他之前已经使用了差不多50年的早期的类似发明时才产生了制造蒸汽机的想法。[注]同样，牛顿也不是一个人坐在苹果树下看到苹果掉在地上就创立了物理学，他花费了数年收集别人编绘的关于行星运动轨道的信息。某天，一位名叫埃德蒙·哈雷（以他命名了一颗彗星）的天文学家拜访牛顿，向他请教一个数学问题，这次偶然的造访给了牛顿灵感。没有这次造访，牛顿很有可能不会写出《自然哲学的数学原理》，这本著作包含着使他到今天依然被人膜拜的牛顿运动定律。爱因斯坦也是如此。他是在他的数学家朋友马塞尔·格罗斯曼的协助下思考一个描述曲面空间性质的古老数学理论时才完成了他的相对论。所有这些伟大思想家的辉煌成就并不是凭空而来的，而是基于前人积累的知识，在别

人的协助之下完成的，他们的成就来自文化的塑造和滋养。并不是只有科学和技术是建立在前人劳动成果基础之上的，艺术也是如此。T. S. 艾略特甚至说过：“不成熟的诗人去模仿；成熟的诗人去剽窃……优秀的诗人让它变得更好，或者至少看起来会不同。”[注]

“文化”是按照你从生活在你周围的人那里学到的行为、知识、观点和价值来定义的，在不同的地区对文化的定义也会不同。现代人类的行为依据的是我们生活环境的文化，我们也会从其他文化里汲取大部分知识，这些知识对于我们来说比其他物种更为真实。实际上，一项近期的研究显示，人类经过进化选择更善于教育他人。[注]

这并不是说其他物种不会展示文化，它们会。比如，研究人员在对不同种群的黑猩猩进行研究时发现，他们只需通过观察一群黑猩猩不同的行为举止就能够识别出这群黑猩猩来自哪里。[注]就像全世界的人都能够很有把握地判断出一个人是不是美国人：只要看这个人在国外旅行时是否会去找供应奶昔和芝士汉堡的餐馆。科学家在这些黑猩猩种群中观察到了38种习俗。在乌干达的基巴莱、尼日利亚的贡贝和坦桑尼亚的马哈雷地区生活的黑猩猩，在遇到下雨天的时候会兴奋地奔腾跳跃，拖着树枝敲打地面。而生活在科特迪瓦的塔伊雨林、几内亚的波叟地区的黑猩猩把蔻拉树的坚果放在木头上，用石片砸碎坚果吃里面的果肉。据报道，某些种群的黑猩猩甚至学会了使用草药来治疗疾病。在以上这些案例中，文化活动并不是本能或者每一代的新发现，而是幼崽从它们母亲那里学到的东西。

目前记录的最详尽的动物知识和文化传承的案例来自日本群岛中一个叫儿岛（Kojima）的小岛。[注]在20世纪50年代初期，当地饲养员每天把甘薯扔到沙滩上供猕猴食用。这些猴子在吃甘薯前需要费很大的力气才能把上面沾的沙子甩干净。到1953年的某一天，一个名叫Imo的18个月大的雌性猕猴突然想到把甘薯拿到水里去洗干净。这样不但可以去除沙子，还可以使甘薯带有咸味儿，吃起来味道更好。很快Imo的同伴们都学会了它的技巧。它们的母亲也慢慢地开始这么做，接着是雄性，除了一对老猕猴——猴子并没有相互教授这项技巧，它们是在观察和模仿。几年的时间，整个猴群都养成了清洗食物的习惯。更重要的是，在这之前猴子是怕水的，但现在它们开始在水里嬉戏了。这种行为在猴群中一代又一代地传承了下去。就像生活在海边的人类一样，这些猴群也发展出了它们特有的文化。经过多年的研究，科学家在许多种类的动物身上找到了文化的证据——这些动物千差万别，有虎鲸、乌鸦，当然也包括其他灵长类动物。[注]

使人类有别于其他动物的地方在于，人类是唯一一种能够利用过去的知识和创新去创造的动物。某一天有人注意到圆的东西可以滚动，于是就发明

了车轮。最终，我们有了手推车、水车、滑轮，当然，也包括轮盘赌。从另一方面讲，Imo用水洗食物的行为并不是基于之前猴子们的知识，也不是其他猴子依据它的经验发明的。人类交流、学习、改进旧观念、交换灵感和洞察力，黑猩猩和其他动物可不会这么做。考古学家克里斯托弗·亨希尔伍德（Christopher Henshilwood）说："黑猩猩能够给它的同类展示捕捉白蚁的技巧，但它们不会去提升这种技巧，它们不会说，'让我们用另一种工具试试'——它们只会一遍又一遍地重复相同的动作。"注

人类学家将这种文化累积的过程（会有相对较少的丢失）称为"文化棘轮效应"。注文化棘轮效应标志着人类文化与其他动物文化之间本质上的差别。这是从定居社会孕育而出的一个工具，在这个定居社会里，人们想要成为思想家，想和思想家一样去思考相同问题的渴望变成了知识进步的养料。

考古学家有时会将文化创新同病毒做比较。注人们的想法和知识就像病毒一样需要特定的外在条件——在这里，这个条件指社会条件——才能茁壮成长。当具备这些条件时，比如数量庞大、联系紧密的人口，社会中的个人会相互传染，文化就得到了传播和发展。那些有用的观点，即使只能提供简单的慰藉，也可以在下一代的观念中生存和兴盛。

许多凭借创新获得成功的现代公司深谙此道。实际上，谷歌公司就很好地利用了这一点。它在公司的咖啡室里放着又长又窄的桌子，员工就只能坐在一起，它还将公司餐厅的点餐路线进行了设计，只需等待三四分钟的时间——这个时间既不会长到让员工失去耐心转而去吃一碗泡面充饥，又足够他们和偶然遇上的人闲聊一会了。我们再看看贝尔实验室，在20世纪30~70年代，它是世界上最具创新力的组织，数字时代的许多关键创新都是在这里诞生的——包括晶体管和激光。在贝尔实验室，人们极其重视协作研究，甚至这栋建筑物的设计就是为了最大限度地增加研究人员碰面的机会，雇员的工作职责包括每年夏天去欧洲出差，担任美国和欧洲科学新观念的交流使者。注贝尔实验室意识到那些和一群不同领域知识分子出差的人更容易构想出新的创新。在谈到新观念的产生时，正如进化遗传学家马克·托马斯所言："并不是需要你有多聪明，而是要看你的交际范围有多广。"注互联性是文化棘轮效应中一个关键的运行机制，它也是新石器革命的礼物之一。

* * *

某天晚上，我父亲76岁生日聚会结束不久，我们吃完晚餐一起出门散步。第二天他被送进医院做手术。他已经病了很多年，他患有临界性糖尿病、

中风、心脏病，还有更糟糕的——按照他的观点——慢性胃灼热和没有食欲。那天晚上我们慢慢地走着，他拄着拐杖，站在街上抬头望着天空，他感叹说这有可能是他这辈子最后一次看星星了，这个想法让他非常难过。于是他开始给我讲述当他意识到死亡将近时他脑子里在想些什么。

他告诉我，我们生活的地球麻烦不断，混乱无序。他小时候经历了大屠杀，老了的时候，戴任何眼镜镜架都会压迫动脉，让它鼓起来，看上去十分危险。他说，天空对他而言一直都是一个完全依据不同规律运行的宇宙，在那个王国里，行星和太阳按照它们古老的轨道安静地运转，看上去是那么完美和无懈可击。这是这些年来我们经常谈到的话题。每次当我和他谈起我最新的物理研究时，这个话题总会出现。他问我是否真的相信构成人类的原子也同样遵循那些宇宙中的原子的定律——了无生气和死寂。无论我和他说过多少次，是的，我真的相信，他还是心存疑虑。

考虑到他即将不久于人世，我以为他不再会像以前那样纠结于自然界那些没有人情味儿的法则，而是像其他那些即将离开人世的人一样，把注意力转向慈爱的上帝。我父亲极少谈到上帝，尽管他出生在一个信奉上帝的家庭，也愿意信仰上帝，但他年少时所目睹的恐怖行径让我很难把这个建议说出口。可是，在他面对星空沉思的那个夜晚，我原本以为他有可能会从上帝那里获取慰藉，然而他说出的话让我大吃一惊。他告诉我说，他希望我所说的关于物理法则的东西是真的，因为不管人类的条件有多糟糕，他和天上那些完美、浪漫的星星都有可能是由同样的物质构成的，这种可能性让他深感安慰。

至少从新石器革命开始，人类就已经开始思索这样的问题，我们依然没有找到答案，但当这些关于存在的问题将我们唤醒后，人类在获取知识的道路上将遇到的下一个里程碑，就是工具的发展——思想工具，它用来帮助我们解答这些问题。

最初的工具听上去可不怎么宏伟。它们比不上微积分，或者科技手段。它们是交流思想最基本的工具，伴随人类多年，我们差不多快要忘记它也是我们思维构成的一部分。但为了取得进展，我们需要等待一个职业的出现，这个职业不是为了获取食物，而是为了追求观点；我们需要等待文字的发明，有了它知识才能够得以保存和交流；我们需要等待数学的出现，它将成为科学的语言；最后，我们还要等待规则概念的产生。正如同17世纪所谓的科技革命一样，这些发展具有史诗般的变革性。它们并不是那些英雄个体伟大头脑苦思冥想的结果，而是人类第一批真正意义上的城市里市民生活慢慢产生的副产品。

---

1. 专业术语是剑齿猫。

2. James E. McClellan III and Harold Dorn,*Science and Technology in WorldHistory,* 2nd ed. (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2006), 9–12.

3. Many of these developments had had precursors among older nomadic groups,but the technologies did not flourish, for the products did not fit the wanderinlifestyle. See McClellan and Dorn, *–Science and Technology,* 2021.

4. Jacob L. Weisdorf, "From Foraging to Farming: Explaining the NeolithicRevolution,"*Journal of Economic Surveys* 19 (2005): 562–86; Elif Batuman,"The Sanctuary,"*New Yorker,* December 19, 2011, 72–83.

5. Marshall Sahlins,*Stone Age Economics* (New York: Aldine Atherton, 1972),1–39.

6. Ibid., 21–22.

7. Andrew Curry, "Seeking the Roots of Ritual,"*Science* 319 (January 18,2008): 278–80; Andrew Curry, "Gobekli Tepe: The World's First Temple?,"*Smithsonian Magazine,* November 2008, accessed November 7, 2014, http: //www.smithsonianmag.com/history-archaeology/gobekli-tepe.html; CharlesC. Mann, "The Birth of Religion," *–National Geographic,* June 2011, 3459;Batuman, "The Sanctuary."

8. Batuman, "The Sanctuary."

9. Michael Balter, "Why Settle Down? The Mystery of Communities,"*Science*20 (November 1998): 1442–46.

10. Curry, "Gobekli Tepe."

11. McClellan and Dorn,*Science and Technology,* 17–22.

12. Balter, "Why Settle Down?," 1442–46.

13. Marc Van De Mieroop,*A History of the Ancient Near East* (Malden, Mass.:Blackwell, 2007), 21. See also Balter, "Why Settle Down?," 1442–46.

14. Balter, "Why Settle Down?," 1442–46; David Lewis-Williams and David Pearce,*Inside the Neolithic Mind* (London: Thames and Hudson, 2005),77–78.

15. Ian Hodder, "Women and Men at Çatalhöyük,"*Scientific American,* January 2004, 81.

16. Ian Hodder, "Çatalhöyük in the Context of the Middle Eastern Neolithic,"*Annual Review of Anthropology* 36 (2007): 105–20.

17. Anil K. Gupta, "Origin of Agriculture and Domestication of Plants and Animals Linked to Early Holocene Climate Amelioration,"*Current Science*87 (July 10, 2004); Van De Mieroop,*History of the Ancient Near East,* 11.

18. L. D. Mlodinow and N. Papanicolaou, "SO (2, 1) Algebra and the Large N Expansion in Quantum Mechanics,"*Annals of Physics* 128 (1980):314–34; L. D. Mlodinow and N. Papanicolaou, "Pseudo-Spin Structure and Large N Expansion for a Class of Generalized Helium Hamiltonians,"*Annals of Physics* 131 (1981): 1–35; Carl Bender, L. D. Mlodinow, and N.Papanicolaou, "Semiclassical Perturbation Theory for the Hydrogen Atom in a Uniform Magnetic Field,"*Physical Review A* 25 (1982): 1305–14.

19. Jean Durup, "On the 1986 Nobel Prize in Chemistry,"*Laser Chemistry* 7(1987): 239–59. See also D. J. Doren and D. R. Herschbach, "Accurate Semiclassical Electronic Structure from Dimensional Singularities,"*Chemical Physics Letters* 118 (1985): 115–19; J. G. Loeser and D. R.Herschbach, "Dimensional Interpolation of Correlation Energy for TwoElectron Atoms,"*Journal of Physical Chemistry* 89 (1985): 3444–47.

20. Andrew Carnegie,*James Watt* (New York: Double-day, 1933), 45–64.

21. T. S. Eliot,*The Sacred Wood and Major Early Essays* (New York: DoverPublications, 1997), 72. First published in 1920.

22. Gergely Csibra and György Gergely, "Social Learning and Cognition: The Case for Pedagogy," in*Processes in Brain and Cognitive Development,* ed.Y. Munakata and M. H. Johnson (Oxford: Oxford University Press, 2006):249–74.

23. Christophe Boesch, "From Material to Symbolic Cultures: Culture in Primates," in*The Oxford Handbook of Culture and Psychology,* ed. JuanValsiner (Oxford: Oxford University Press, 2012), 677–92. See also

SharonBegley, “Culture Club,”*Newsweek,* March 26, 2001, 48–50.

24. Boesch, “From Material to Symbolic Cultures.” See also Begley, “Culture Club”; Bennett G. Galef Jr., “Tradition in Animals: Field Observations and Laboratory Analyses,” in*Interpretation and Explanation in the Study of Animal Behavior,*ed. Marc Bekoff and Dale Jamieson (Oxford: Westview Press, 1990).

25. Boesch, “From Material to Symbolic Cultures.” See also Begley, “Culture Club.”

26. Heather Pringle, “The Origins of Creativity,”*Scientific American,* March 2013, 37–43.

27. Michael Tomasello,*The Cultural Origins of Human Cognition* (Cambridge,Mass.: Harvard University Press, 2001), 5–6, 36–41.

28. Fiona Coward and Matt Grove, “Beyond the Tools: Social Innovation and Hominin Evolution,”*PaleoAnthropology* (special issue, 2011): 111–29.

29. Jon Gertner,*The Idea Factory: Bell Labs and the Great Age of American Knowledge* (New York: Penguin, 2012), 41–42.

30. Pringle, “Origins of Creativity,” 37–43.

4.文明

牛顿留给世人的珍宝之一是他的名言："如果我看得更远，那是因为我站在巨人的肩上。"他是在1676年写给罗伯特·胡克的一封信里写下的这句话，表明他所取得的成就是建立在胡克以及勒内·笛卡儿的工作之上的。（胡克后来成为他的死对头。）牛顿的确从他的前辈们的观点里获益匪浅，实际上，就连他说的这句话也是从其他人那里学来的。1621年，牧师罗伯特·伯顿写道："站在巨人肩头的侏儒比巨人看得更远。"接着在1651年，诗人乔治·赫伯特写道："巨人肩膀上的侏儒看得比他们两人都要远。"1659年，清教徒威廉姆·希科斯写道："站在巨人肩头的矮子可以比巨人看得更远。"看来，在17世纪，巨人肩头的侏儒和矮子似乎是描绘学术追求的一个必备比喻。注

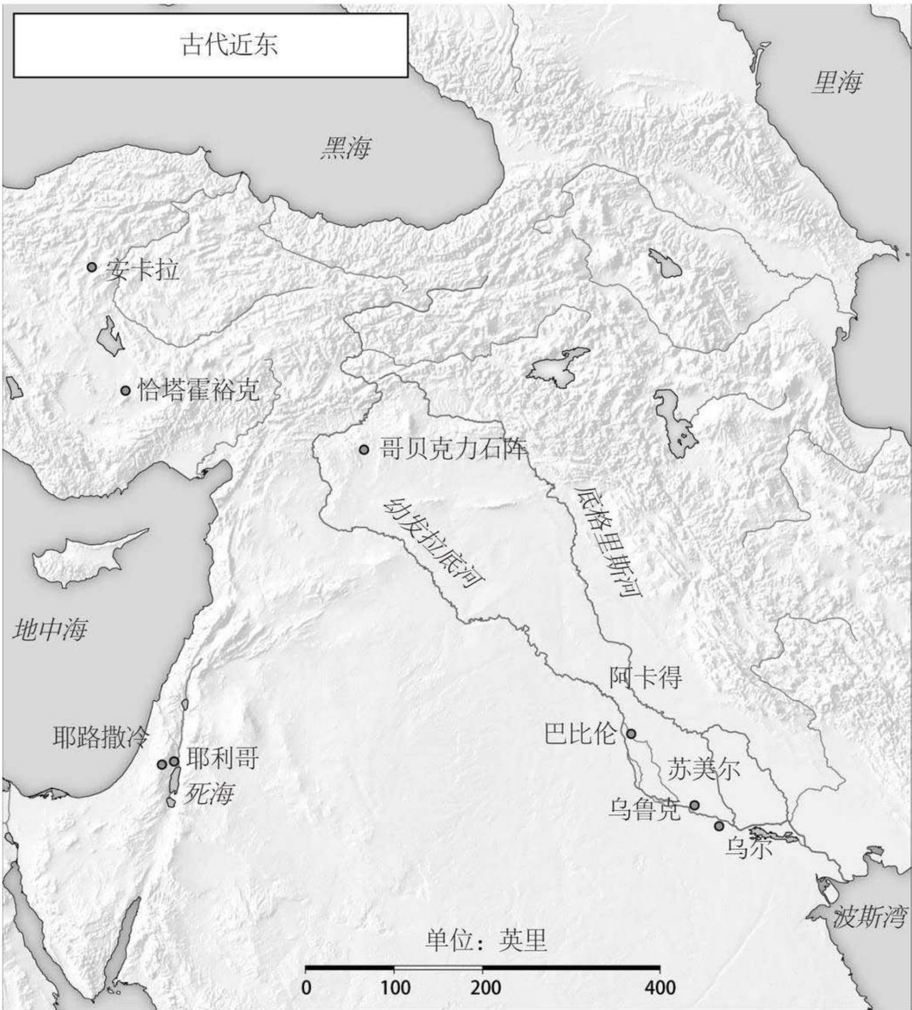
牛顿和其他人所说的事情对于他们而言或多或少刚刚成为过去。而在另一方面，在我们之前上千年的时间里一代又一代先辈所扮演的角色却常常被我们遗忘。尽管我们喜欢标榜自己是先进的，但我们之所以能明白这一点，那也是因为在新石器时代村落逐渐发展成为真正意义上的城市的过程中，出现了那些具有深远意义的发明创新。从这些古老的文明中发展而来的抽象知识和思维方式对于我们宇宙观的形成起着关键性的作用——包括我们去探究这些思想的能力。

* * *

第一批城市并不是突然冒出来的，不是说游牧部落成员某天突然决定要在一起生活，接下来他们就知道要去捕获用聚苯乙烯泡沫塑料和玻璃纸包裹的鸡腿。恰恰相反，从村落演变成城市是一个循序渐进的自然过程，需要成千上万年的发展，等到定居的农业生产生活方式成为主流时才会出现。这一缓慢的过程也为村落何时才能被重新归类为城市的具体时间留下商讨的空间。抛开回旋余地，人们通常认为第一批城市出现在公元前4000年左右的近东地区。注

在这些城市中，最引人注目的或许就是带有城墙的伟大城市乌鲁克，它是城市化发展潮流中一支重要的力量。注乌鲁克位于今天伊拉克的东南部，离巴士拉很近。尽管近东是最早开始城市化的地区，但在这片土地上谋生却不容易。最初的居民来这里是为了获得水源。这个理由似乎有些荒谬，因为这片土地大部分都是沙漠。尽管这里的气候不适合生活，但它的地理条件却很吸引人。在这个地区的中部有一片长长的洼地，底格里斯

河、幼发拉底河，以及它们的支流在这里静静流淌，形成了一片肥沃的平原。这块平原名叫美索不达米亚，在古希腊语中意为“两河之间”。第一批出现在这里的定居点仅仅是一些村落，它们的规模也受到河水流域的限制。接着，在公元前7000年之后的某段时间，以农耕为生的族群学会了通过挖掘运河和水库来延伸河水的流域，随着食物供给能力的增强，城市化最终变成了可能。



灌溉并不容易。我不知道你是否试着挖过一条水沟，我试过——当时是为了给草坪铺设浇水设施。第一步很容易——去买一把铁锨就行了。接着困难来了。我高高地举起这个漂亮的工具，用尽全力把它挥下去，铁锨从坚

硬的地面上反弹回来，因为用力过猛，它不停地震颤。最后，我只得向一位权威求助才将这项工作完成，他有一台气动挖掘机。今天在城市里我们需要各式各样的挖掘设备，但很少有人会停下脚步称赞这些设备。但在古代近东地区开挖的灌溉水渠，有数英里长，宽度达到75英尺（22.86米），它们全都是靠着原始的工具，在没有机械的帮助下完成的，在古代这简直就是一个奇迹。

把河水从自然河道引到农田里需要数以万计劳工的辛勤劳动，还有规划人员和监工的指导。农民参与这项集体劳动贡献自己的力量有很多原因，其中一个是遭到逼迫，另一个则是参与这种劳动是他们唯一能够灌溉自己土地的机会。不管出于什么样的动机，这些农民的努力收到了回报。充足的食物和定居的生活意味着有更多的家庭能够抚养更多的子女，他们后代存活的概率也更大。出生率飞速增长，儿童死亡率则不断下降。到公元前4000年，人口数量持续增加。村落变成了城镇，城镇变成了城市，而城市的规模则变得更大。

修建在波斯湾顶端一个内陆沼泽地的乌鲁克是早期城市发展结出的硕果。它统治着这一地区，比其他定居点的规模都要庞大。尽管我们很难估测出古代城市人口的数量，但从考古学家发现的建筑和遗迹判断，当时生活在乌鲁克的居民数量应该在5万~10万，比恰塔霍裕克的人口增长了10倍。如果依照现在的标准，乌鲁克充其量只能算一个小城市，但在当时，它相当于今天的纽约、伦敦、东京、圣保罗。

乌鲁克的居民使用“种子犁”耕田，这种特制的、难以操作的农具可以一边犁田一边播种。他们把沼泽里的水排干，挖出由上百条水渠相互连接的运河。他们在这片灌溉的土地上种植大量的谷物和水果，主要有大麦、小麦和大枣。他们养羊、驴、牛、猪，在附近的沼泽里捕捉鱼和水鸟，从河里捉甲鱼。他们放牧山羊和水牛来获得奶，大量饮用大麦酿造的啤酒。（对古代陶罐所做的化学分析显示，啤酒最早出现在公元前5000年。）

这些发展对我们之所以重要，原因在于一些专有职业的兴起，这些职业要求人们对于材料、化学、动植物的生长周期和需求有一个全新的认识。依照获得食物的方式，人被划分成了渔夫、农夫、牧人和猎人。手工业从最初所有家庭在闲暇时间才从事的劳作，变成了一群具备特殊技艺的专业人员的全职工作。面包是面点师的产品，啤酒是酿酒师的专长。酒馆开始兴起，于是就有了酒保，有些还是女性。在一个作坊遗址里，我们发现了加工熔化金属的痕迹，我们推测那时候就有了精炼工。制作陶器也成为一项职业：数千个按照标准尺寸烧制的简单的斜边陶碗表明，这样的生产规模，如果不是99美分商店，那它就是一家专门生产陶瓷制品的工

厂。

其他的技工将精力投入到制作衣服上。那一时期留存至今的艺术品上有织工的形象出现，人类学家还发现了羊毛织物的残片。更重要的是，残留下来的动物遗骸表明，在那一时期，牧人养的绵羊数量超过了山羊。既然山羊产奶量要多于绵羊，那绵羊数量的增加或许反映了人们对于羊毛需求的增加。注还有，发掘的骨头表明，这些牧民是等到这些羊年龄很大的时候才去宰杀它们——如果你对羊肉感兴趣的话，这可不是什么好主意，但如果你是为了它们的皮毛，这种做法就很明智。

这些专门的职业对于一个需要啤酒或者奶，或者需要盛奶的罐子的人来说是一种福利，它们同时也代表着人类思想史上一座辉煌的里程碑，在这些专业人才的共同努力下，人类的知识发生了前所未有的大爆发。是的，这些知识纯粹出于实际的原因，并掺杂了神话和仪式；是的，酿造啤酒的配方里也包含着如何奉承掌管酿酒过程和饮酒乐趣的诸神的指示。你在《自然》杂志上看不到这些东西，但它们却是科学知识发育的胚胎，自己具备生长发育的诉求。

* * *

除了这些以生产实物为目的的职业的发展之外，在那一时期还出现了一些专业人员，他们并不专注于体力劳动或者食物和物品生产，他们只关注人类的思维活动。

他们说，与其他任何团体的成员相比，我们对同一职业的人感觉更亲密。我并不擅长做像挖水沟这样实际的事情，在工作领域我主要引以为豪的能力就是我能坐下来思考一整天也不会感到疲倦，我非常庆幸自己选择了这条道路。所以我感觉自己和这些古代的思想商人有某种联系。尽管他们都是迷信的多神论者，但他们是我的同类，也是所有凭借思考和研究谋生的人的同类。

之所以会出现这种新的“脑力”职业，主要原因是当时根植于美索不达米亚的城市生活方式需要某种集中化的组织，这意味着需要创建系统和规则，收集和记录数据。

比如，城市化需要发展出一套交易系统，以及一个监管交易的机构；食物的增加意味着需要建立一个公有的储藏系统，以应对收成不好的情况；和游牧部落不同，农民和依靠农民生活的人在遭到攻击时无法轻易舍弃他们的家业，这个事实意味着有必要建立起一支军事武装或者军队。实际上，美索不达米亚上的城邦经常会为了争夺土地和水源进行惨烈的战争。

公共劳动力市场上需要劳工组织的呼声也很高涨。其一，为了抵御潜在的入侵者，城市的四周必须建立起厚厚的城墙。其二，为了容纳安装有新发明的车轮的交通工具，必须修建道路，同时农业也需要更大的灌溉系统。当然，为了显示新的中央的权威，也要为官僚们修建大型建筑。

于是对警察的需求就出现了。注当居住地的人口数量只有数百人时，大家可能都相互认识。但当人口超过1 000以后，这就不可能了，所以人们经常发现自己面临着和陌生人打交道的局面，这改变了人与人之间发生冲突的性质。人类学家、心理学家以及神经系统科学家已经研究过当人群的数量不断增加时，群体动力是如何改变的，但从最基本的层面出发，我们就很容易理解会发生什么事情了。假如我经常见到某人，就算我不喜欢他，也要装作很喜欢的样子。假装喜欢某个人是为了防止类似拿起一块泥板砸他脑袋以便偷他的山羊这样的事情发生。但如果我不认识这个人，而且日后我们也不可能再碰面，那我就很难抵制美味的羊奶芝士的诱惑了。结果，冲突不只是在家人、朋友和熟人间发生，也会在陌生人之间发生，所以正式的冲突解决方式——警察——应运而生，这也为集权的政府机构的出现提供了动力。

谁是世界上第一批城市的统治者，谁是那个让所有集中活动成为可能的人？美索不达米亚人把那些维系他们与神的联系、主持他们宗教职责和典礼的人当作他们权威的来源。

美索不达米亚人不像我们那样把教堂和国家区分得很清楚——在美索不达米亚，二者是不可分割的。每座城市都是一位神的家园，这位神就是这座城市的保护神。每座城市的居民都相信他们的神掌管着他们的存在，建造的这座城市也是他们自己的住所。注假如一个城市衰落了，人们会认为这是因为神抛弃了他们。因此，宗教不仅仅成为维系社会的信仰体系，也成为法规的执行机构。更重要的是，出于对神的敬畏，宗教是一种使人变得驯服的有效工具。“商品由城市之神收取，再转发给人，”近东的学者马克·范德米尔洛浦（Marc Van De Mierop）写道，“圣殿，神的家园，是天地万物运行生长的中枢……圣殿，坐落于此城，是一切的焦点。”注结果，在乌鲁克社会阶层的最顶端出现了牧师国王这样的职位，他的权威来自他在神殿里的职务。

权威意味着权力，但为了使权力有效，统治者必须收集数据。比如，如果宗教机构想要监管商品和劳力的交换、收税，以及执行合约，就需要人去收集、处理和保存与这些活动有关的信息。今天，在我们眼中政府官僚机构的智力水平就和大学橄榄球一级联赛里的球队一样，但正是从这些最初的政府官僚机构里出现了一个专业的文化阶层。正是出于他们工作的需要，这些官僚发明了最重要的思考工具：阅读、书写和计算。

如今我们把读、写、算看作最基础的技能，从我们不再用尿不湿开始一直到我们收到第一部智能手机之前，我们都在学习这些技能。它们之所以看起来很初级，主要是因为别人在很早之前就发明了它们，自此它们就在我们的老师兢兢业业的教学中传承了下来。在古代的美索不达米亚，如果人可以拥有教授的头衔，那就会出现阅读教授、书法教授、计算教授、加法教授，这些教授所讲授和研究的观点在他们那个年代是最先进的。

* * *

人类与地球上其他数以万计的动物最显著的不同，在于人的思想能够以一种非常复杂和微妙的方式影响他人的思想。我所说的这种思维控制方式是通过语言实现的。动物之间可以相互发出恐惧、危险、饥饿或者爱慕的信号，在某些情况下它们也会向人类发出这些信号，但它们没有能力理解抽象的概念，或者将几个单词以有意义的方式串联起来。黑猩猩在指令下可以挑选出上面印有橘子图案的卡片，鹦鹉可以持续不断地发出恼人的“波利想吃饼干”的声音。但除了执行这些简单的要求、命令、警告和识别能力之外，它们的能力实际为零。注

在20世纪70年代，为了研究黑猩猩是否能掌握语法和句式结构，科学家教黑猩猩如何使用手语，语言学家诺姆·乔姆斯基评论说：“证明黑猩猩有语言能力的可能性，就跟生活在某个小岛上的一种不会飞的鸟儿等着人类去教它们飞翔的可能性一样大。”注十几年后，事实证明乔姆斯基说得没错。

就和飞行不是鸟儿的发明，幼鸟也无须去飞行学校学习飞行一样，语言对于人类来说是很自然的——但也仅限于人类。人类为了在野外生存，必须使用复杂的合作行为，然而——就像我一直提醒我的孩子们一样——指指点点和咕咕哝哝让你走不了多远。结果，就和站立或者观察一样，语言能力在一种基因的帮助下伴随着生物适应的过程诞生了，这种基因在人类染色体中出现得很早，甚至在古老的尼安德特人的DNA（脱氧核糖核酸）里也发现了这种基因。

因为语言能力是天生的，人们就会期待它广泛地显现，看起来它也的确在全球范围内，在每一个曾经作为一个群体生活在一起的人群中被一次又一次地独立发明出来。事实上，早在新石器革命之前，语言的数量可能就和当时的部落一样多。我们这样认为的原因之一是，在18世纪晚期澳大利亚成为英国殖民地之前，在这块大陆上生活着500个原住民部落，每个部落平均有500个成员，他们依然过着前新石器时代的生活——每个部落都有自己的语言。注实际上，正如史蒂文·平克评论的那样：“至今还没有发现过不会说话的部落，也没有记录显示有哪种语言从作为语言‘摇篮’的某个

地区扩散到之前没有语言的族群。”

如果说语言是定义人类这个物种的重要特征，那么书写则是定义人类文明的重要特征，也是其最重要的工具之一。说话可以让我们和周围的小部分人交流，书写则使我们能够跨越时间和空间的距离与人交流思想。它使知识的大量积累成为可能，这也是文化从过去传承下来的方式。通过这种方式，我们能够突破自身知识和记忆的局限。电话和互联网改变了世界，但在它们出现之前的很长一段时间里，书写才是人类第一个最具革命性的沟通手段。

语言是自然出现的——它不需要被发明。但是文字却需要，现在仍然还有很多部落没有跨出这一步。我们习惯性认为文字是所有时代最伟大的发明，同时也是最困难的发明。语言学家记录下了目前世界上正在被人类使用的3 000多种语言，但这些语言之中仅有100多种可以被写下来，从这一事实我们就可以看出发明文字这项任务的艰巨性了。更重要的是，纵观人类历史，文字作为一种独立的发明只出现过不多几次，它是通过文化扩张，从现存的文字体系中互相借鉴或改造而来的，而不是被一次次地重新创造的。

人们认为最早的文字形式大约出现在公元前3000年的美索不达米亚南部的苏美尔。我们唯一可以确定的独立文字体系出现在公元前900年的墨西哥。此外，埃及人（公元前3000年）和中国人（公元前1500年）的文字体系也有可能是独立发展的结果。我们目前所知的所有文字都从这几种为数不多的文字中演化而来。

与大多数人不同，我曾经也有过试图“创造”一种文字的经历。那时我只有八九岁，加入了童子军俱乐部，老师给我们布置了一项任务，让我们发明一种自己的文字。当皮特斯先生批改完我们的作业后，我能感觉到我的发明给他留下了深刻的印象。我发明出的文字和其他孩子的完全不同。他们只是对英文字母表上的字母做了一点儿改动，而我的文字却是全新的。

在把作业本还给我之前，皮特斯先生又仔细阅读了一次。他不喜欢我，我能感觉到他试图找出其中的漏洞，这样他就可以不用夸奖我作业里反映出的天才创造力了。“你做得……不错。”他咕哝着说。他在说“不错”之前犹豫了很久，就好像把这个词用在我身上他要付给它的发明者一个星期的工资作为专利费似的。在他把作业本递给我的一瞬间，他突然又把它拿了回去。“你上主日学校了，是不是？”他问道。我点了点头。“你发明的这些字是不是根据希伯来字母表得来的？”我没法撒谎。是的，就跟其他孩子一样，我也只是把我知道的字母表里的字母做了一些改动而已。这并没有什么好丢人的，但我却遭殃了。他过去一直没把我看成是一个普通小孩，而

看成是一个犹太小孩，现在我证明他是对的。

童子军俱乐部的这个任务对于我们来说可能极具挑战性，但与那些最初发明文字的人相比，我们还是具有极大的优势的，因为我们已经学过如何将我们所说的话分解成基本的元音，并用字母把它们一个个表示出来。我们也学过一些辅音，比如th和sh，它们不能当作单独的字母使用，我们能够区分出p和b发音上的差别，但假如我们之前没有接触过任何形式的文字系统，做到这一点对我们来说将十分困难。

如果你试图在别人讲外语的时候分辨出里面的音节，你就能体会到这有多难了。一种语言越陌生——比如你原本讲印欧语系的语言，现在要你听中国话——识别它的难度就越大。你会发现光是识别出那么多的音节就已经非常具有挑战性了，更别说区分出p和b之间那微妙的差异，但无论如何古苏美尔文明战胜了这些困难，发明出了一套文字。

当一项新技术出现时，它们最初的应用和后来在社会生活中发挥的作用经常大不相同。实际上，新技术的发明者——比如我们后面会讲到的科学理论的创立者——也常常理解不了自己构想出来的东西究竟具有什么意义，对于那些在发明创新领域工作的人来说，认识到这一点非常重要。

如果你把文字看作是一种技术——一种把语言记录在黏土上（后来使用纸张）的技术——那你就会很自然地拿它和录音技术的发展做比较了。当托马斯·爱迪生发明这项技术时，他并不知道日后人们会用它来录制音乐。注他觉得这项发明除了用来记录将死之人的遗言或者用作办公室口述记录机之外，并没有什么商业价值。同样，文字最初的角色和它最终在今天的社会中所扮演的角色大不一样。最初，文字只是用来做简单的记录和清单，就跟Excel表格一样没有更多的文字内容。

* * *

我们所知的最早的文字刻在乌鲁克遗址一个庙宇的泥简上。这些文字记录了谷物和牲畜的数量。其他的泥简文书记载了劳力的分配。例如，从这些文字我们可知，一座庙宇的宗教团体雇用了18名面包师、31名酿酒师、7名奴隶以及1名铁匠。注根据部分翻译内容，我们还了解到这些工人能够得到定量的物资，比如大麦、油和布匹，还有一种被命名为“城市领袖”的职业，另一种职业叫作“牲畜的伟大领袖”。你也许可以想到很多书写的理由，但从这些发掘出的泥简文书看，85%都和计数有关。剩下15%的文字大部分也是关于培养未来会计的。注的确有很多东西需要学习，因为记录是一项复杂的工作。例如，人口、动物和鱼干是用一种数字系统计算的，而谷物、奶酪和鲜鱼却是用另一种方式计算的。

在发明初期，文字只具备纯粹的实用功能。那时候还没有爆米花小说和关于宇宙的书面理论，只有一些官方的记录文件，例如发票、商品清单，以及证明这些东西的个人标识或者“签名”。这听上去世俗，但却有着深远的含义：没有文字，也就没有城市文明；没有文字，人们就会缺乏创造和维系某种共存的复杂人际关系的能力，而这种人际关系则构成了城市生活的代表性特征。

在城市，人们不断地付出和收获——购买和销售、付款、运输和收货、借钱和放贷、雇人干活和替人干活、缔结和约并执行和约。假使没有书面文字，这些活动都将陷入混乱和纠纷之中。想象一下你在一周的时间里没有任何事情、任何交易——甚至工作成绩或者上班时间——能够以任何方式被记录下来。我的猜测是我们可能甚至没有办法好好看完一场职业篮球比赛，因为双方的球迷都宣称自己支持的球队获胜了。

最早的文字就和发明它们的目的一样原始。它们使用通用的斜线来代表很多种物品，不管它是水果、动物还是人。最后，为了能够更轻松地分辨出哪个符号代表羊，哪个符号代表羊的主人，人们很自然地想到在这些数字旁边画上象形图案来增加它的复杂性，于是人们开始使用图像来代表词语。学者已经破译出超过1 000个这样的象形文字的意思。比如，人们用牛头部的轮廓来代表“牛”，以三角形排列的三个半圆表示“山”，三角形用来表示“女人”，上面的记号象征女性的阴部。[注]还有一些组合符号，例如代表女性奴隶的符号——从字面意思上看，一个来自“山的那一边”的女人——就是用“女人”的符号和“山”的符号组合而成的。[注]最终，象形文字可以用来表示动词和造句。代表手和嘴的象形文字和代表“面包”的象形文字放在一起就形成了“吃”这个词。[注]

早期的抄写员使用顶部很尖的工具在泥板上刻写象形文字。后来，人们使用芦苇笔把图案压进黏土里，这会留下楔形记号。这种象形文字被称为楔形文字，由拉丁语“楔形”而来。人们从乌鲁克的废墟中清理出上千件早期的泥板，上面只简单地罗列着物品和数字，没有语法。

基于象形的书写语言之所以会走向没落，主要在于这些象形文字的数量太过庞大，极其难以掌握。这时候迫切需要一个能识文断字的阶层出现来掌握这种复杂的文字，也就是我之前提到的思想家阶层。这些早期的职业学者形成了一个特权阶层，他们享有崇高的社会地位，由寺庙或者皇宫供养。在埃及，他们甚至可以不用纳税。

考古遗址显示，在公元前2500年左右，对抄写员的需求又产生了另一个伟大的创新：世界上第一所学校，在美索不达米亚语中意思是“泥简房子”。

最初这些学校和寺庙相邻，后来它们被搬进了私人宅邸。学校名字来源于学校的教学工具：泥简——每间教室都可能有用来晾干泥简的架子，烤制泥板的炉子以及储存它们的箱子。因为这套书写系统依然过于复杂，抄写员不得不花费数年时间来记忆和学习，这促使他们对这数千个复杂的楔形文字进行改造。人们很容易低估这一举动在人类知识发展史上的重要性，但社会需要创造以传授知识为要务的职业，以及学生需要花费数年时间来掌握这些知识的理念在当时却是全新的——这是人类发展史上的重要节点。

随着时间的流逝，苏美尔人简化了他们的文字，并且用它们来交流复杂的思想和观点。他们发现可以通过改变一个发音相同但更易表述的词语的写法去描绘另一个不易表述的词。例如，“去”（to）这个词可能是“二”（two）这个词去掉一个不发音的限定标记得到的，以此表达替换的含义。一旦发明了这种方法，苏美尔人就开始创造表示语法终结的符号，比如他们将“shun”这个单词的符号稍作修改来代表单词的后缀-tion。他们发现他们可以使用同样的技巧用较短的词语去拼写出较长的词语，就跟用“two”和“day”（天）写出“today”（今天）这个单词一样。到公元前2900年，这些创新使苏美尔语中截然不同的象形文字的数量从2 000个减少到只有500个。

因为书写变成了一种越来越灵活和简便的工具，能够用来进行更复杂的交流，学校能够扩大规模，开始教授书写和计算，最终开始教授像天文学、地质学、矿物学、生物学以及医药学这些新兴学科的专业词汇——最初并没有原理，只是单词和词义的罗列。学校也会讲授一种实用哲学，“智者言论”，这些指导人如何才能取得人生成功的格言是从城市里的长者那里收集来的。这些话非常直白和实际，例如“别娶妓女”，不如亚里士多德那样深刻，但比起数粮食和山羊又向前迈进了一步，这些都是日后创造出哲学世界以及科学开端的学术追求和机构的起点。

到公元前2000年左右，美索不达米亚的书写文化又一次获得了发展，这一次是随着一种抒发人类情感成分的文体的发展而发展的。在今天的巴格达以南约600英里（965.61千米）的一个考古现场发掘出了一块那个时期的石碑，上面刻着迄今为止所发现的最古老的情诗。这首诗以一名女祭司的口吻写成，主要表达了她对国王的爱慕之情，这些4 000年前的诗句所表达的情感即使在今天也一样鲜活和直白。

新郎我的心肝儿，

你的美貌就像天神，亲爱的，

你使我着迷，站在你面前我会战栗；

新郎，我将被带进洞房。

新郎，你从我这里获得了快乐，

告诉我的母亲吧，她将为你备下佳肴；告诉我的父亲吧，他将赠予你礼物。

在这首诗出现之后的几个世纪里，又发生了另一次创新：用概念来代表构成词语的音节，而不是用词语所表示的事物来代表音节。这种概念完全改变了书写的本质，现在，这些符号只代表音节，不再代表观点。这是古苏美尔人使用单词“shun”去代表音节-tion技巧的合乎发展逻辑的自然结果。我们并不十分清楚这种进步是在何时以何种方式产生的，但我敢打赌这种更经济有效的书写方式的产生与世界贸易的繁荣发展密不可分，因为使用象形文字写商业信函和做经营记录将会十分麻烦。所以到了公元前1200年，腓尼基文字——人类历史上第一个伟大的字母表——出现了。注 曾经需要记住上百个复杂图形才能完成的事情，现在只需要十来个基本图形以不同方式组合就能做到。后来的阿拉姆语、波斯语、希伯来语和阿拉伯语——以及公元前800年左右的希腊语——都是在借鉴和改造腓尼基字母表的基础上形成的。它从希腊开始，最终传遍了整个欧洲。注

* * *

在阅读和书写发展的同时，第一批城市也需要在数学领域有所进步。我一直坚信数学在人类心中占据特殊的位置。当然，你或许会想，那就跟胆固醇一样吧。当然，有人诋毁数学，整个历史中一直有人诋毁它。早在公元前415年，圣奥古斯丁写道：“危险……数学家与魔鬼签订盟约，他们让灵魂变得阴暗，把人囚禁在地狱之中。”注 激怒他的人或许是占星师或命理学家——在他的时代，他们是数学黑暗艺术的主要使用者。但是我记得我曾经在许多场合听到我的孩子也说过同样的话，可能不如圣奥古斯丁的话那么富于表现力。但是，无论你是爱它还是恨它，数学和逻辑思维都代表着人类灵魂的一个重要组成部分。

经过几个世纪的发展，数学已经被应用到了许多不同的领域，因为数学就和科学一样，按照我们今天的定义，它与其说是一个具体的学科，不如说是一种获取知识的方式方法——一种推理方法，人们使用这种方法谨慎地提出概念和假设，并依照严谨的逻辑推导出结论。人们通常所说的“最初的数学”，其实并不是那种意义上的数学，就像苏美尔人做记录使用的文

字并不是莎士比亚戏剧写作那种意义上的文字。

最早的数学就和让我的孩子以及其他学生在小学感到厌倦的数学一样：一组几乎不用动脑思考就能拿来解答某种具体问题的法则。在美索不达米亚第一批城市里，需要数学解答的问题主要集中在记录钱、物料和劳工，计算货物的重量和规格，计算利息和复利这些方面——和促使文字发明的世俗关切属于同一类型，在城市社会运行中发挥着和文字一样的重要作用。[注]

算术或许是数学最基础的一个分支。即使是原始人也有一套计数的系统，尽管超过一只手的5个指头他们就有可能无法计数了。幼儿似乎也天生具有判断一批物品数目的能力，尽管只能达到4个。[注]但除了数数之外——从妈妈的肚子里一出来我们就拥有一套工具——我们还必须学会加、减、乘、除，这些技能是我们在孩童时期逐渐发展出来的。

最早的城市文明引入了正式的，甚至常常是繁复的定律和数学计算方法，他们发明出了解答包含未知数的等式的方法，这也是我们今天使用代数做的事情。与现代代数相比，他们的至多也就是初级水平，但他们的确发明出了秘方，如果你能接受这个叫法——或许有上百个——来进行涉及二次方程和立方等式的复杂运算。他们甚至还从简单的商业应用更进一步，把他们的技术运用到了工程建设上。比如在开挖运河前，一位来自美索不达米亚南部地区巴比伦的工程师会计算出需要被运走的土方量，再除以一个工人每天可以挖出的量，从而得出总共需要多少劳力。在建造一栋建筑之前，一位巴比伦工程师也会通过类似的运算得出所需的劳力和砖块数量。



从萨达姆·侯赛因曾经的夏宫眺望古巴比伦废墟

抛开它所取得的成就不谈，美索不达米亚数学缺乏重要的实用价值。数学实践是一种艺术，其媒介是符号化的语言。和一般的语言不同，数学符号和公式所表达的并不是概念，而是概念之间的关系。正因为如此，如果说数学领域有一位无名英雄的话，它就是数学符号。好的符号可以精确而又直白地表述出概念之间的关系，有助于人们对其进行思考；而不好的符号则使人的逻辑分析低效和笨拙。巴比伦数学落入了后者的窠臼：他们的法则和运算都是用日常用语表述的。

比如，有一块巴比伦时期的石碑刻着下面的运算：“长度为4，对角线为5，宽度是多少？它的面积未知。4乘以4得16。5乘以5得25。25减去16得9。我应该使用几的几倍才能得到9？3的3倍是9。所以宽度是3。”如果使用现代数学符号，可以这样表达：$x^2 + 4^2 = 5^2$；$x = \sqrt{(5^2 - 4^2)} = \sqrt{(25 - 16)} = \sqrt{9} = 3$。像上面碑文中的这种数学表达方式，它最大的缺点不是它不够简洁，而是我们无法使用代数法则去运算一个散文般的公式。

符号创新直到印度数学经典时代才出现，这一时代从公元前500年左右开始。这些印度数学家的成就的重要性我们再怎么高估都不过分。他们采用十进制系统，并引入零作为一个数字，他们赋予零乘以任何数字得零，加任何数不变的性质。他们发明了负数来表示债务，正如一位数学家所

言，“人们并不喜欢”负数。最重要的是，他们使用符号来表示未知数。然而最初的数学缩写——p代表“加”而m表示“减”——直到15世纪才被引入欧洲，等号也直到1557年才被发明，牛津和剑桥的罗伯特·雷科德选择了这个直到今天我们仍在使用的符号，因为他觉得没有什么东西比两条平行线更相似的了（而且因为平行线已经用来作为排版的装饰物了，所以印刷工人不需要再设计一个新印版）。[注]

我只关注数字，但世界上第一批城市的思想家却在数学的表现形式上取得了巨大的进展——除了美索不达米亚，还有埃及。在埃及，人们的生活以尼罗河为中心，它的河谷每年有4个月的时间都处于洪水泛滥期，带来肥沃淤泥的同时也对人们的财产造成了破坏。每年洪水过后，官员不得不重新测定农民土地的边界和面积，因为要据此收税。[注]因为涉及巨大的利益，埃及人发明出了一套可靠但复杂的计算正方形、三角形、梯形和圆形面积的方法——以及和他们粮仓形状有关的立方体、正方体、圆柱体和其他形状的体积。“几何”这个概念就来自这些测量土地的活动——在希腊语中它的意思是“土地测量”。

埃及人的实用几何是如此先进，这让他们早在公元前13世纪就能够将一根50英尺（15.24米）长的横梁水平放置在金字塔里，误差只有1/15英寸（0.17厘米）。[注]但和巴比伦人的算术和初级代数一样，古埃及人使用的几何学和今天所知的数学没有多少共同点。它是拿来解决实际问题的，而不是为了满足人们想要更深入地理解世界本质的渴望。所以在几何达到后来自然科学发展所需的那种高度之前，它还需从一种实际的应用上升成一种理论。古希腊人，特别是欧几里得，在公元前15和前14世纪完成了这一壮举。

算术、高等代数以及几何的发展促进了几个世纪后科学理论定律的出现，但当我们试图勾画出这一连串发现之间的关系时，其中一个关键步骤常常被今天的我们所忽视：在人们能够把某种自然定律归结成理论之前，我们首先要创造出“定律”这个概念。

* * *

那些产生广泛影响的伟大科技进步很容易被视为具有革命性。但新的思维模式、新的获取知识的途径就没有那么引人注目了。有一种思维模式的起源我们很少想到，那就是以定律的方式来理解自然。

我们今天把科学定律的概念当作理所当然的事情，但就和许多伟大的创新一样，只有在被发现之后它才会为人所知。就像牛顿一样，我们通过观察自然世界的运作方式从而感知到原来每一个作用力都会产生一个相同的反

作用力——思考不再局限于单独的个例，而是将行为抽象化——这是人类发展的巨大进步。随着时间的推移，这种思考问题的方式也在缓慢地进化着，它不是扎根于科学，而是扎根于社会。

“律”这个概念在今天有着多种多样的含义。科学定律描述物体如何表现，但却没有解释它们为何要遵循这种定律。遵守定律没有奖励，或者违背定律不会遭到惩罚，而且在岩石和行星上都同样适用。对于社会和宗教领域而言，法律和戒律不是描述人实际上做了什么，而是他们应该怎么做，它们为服从提供理由——要成为一个好人，或者避免惩罚。这两种情况都用到了“律”这个概念，但今天这两种概念没有多少共同点。然而，当这种概念第一次出现时，人们并没有对人类的法律和非生命世界的定律进行区分。人们认为非生命体遵循定律的方式和人类受到宗教以及伦理道德支配的方式是一样的。

法律的概念来源于宗教。当早期的美索不达米亚人环视四周时，他们看到一个处于混沌状态边缘的世界，是喜爱规则的天神——尽管是范围极小且专制的那种——把它解救出来的。这些人类化的天神所作所为都和我们一样出于情绪或者一时的兴致，常常干涉人类的生活。一切都由神掌管着——确切地说有上千个神——包括掌管酿酒、农业、抄写、商业和手工业的神，还有一个专门掌管牲畜圈舍的神。也有妖神——他引发流行病；还有一个被称为毁灭者的女神，她会杀死幼童。每一个城邦不仅有属于自己的主神，主神之下还有一众从属神，他们扮演着看门人、园艺师、大使和理发师的角色。

对这些神的崇拜还包括接受一套正式的道德规范。很难想象没有法律系统保护的生活将会变成什么样子，但在这些城市出现之前，游牧部落并没有成文的法律条款。当然，人们知道哪些行为会受到欢迎，而哪些行为会招致批评，但这些行为规范并没有被提炼成像“不得杀人”这样的法令。人的行为不是遵循一套法律条文，而是依据不同的情形，或者出于对他人看法的担忧，或者是担心遭到权势人物的报复而有所变化的。

美索不达米亚的城市之神对人们的道德提出了具体的要求，这些需要它的子民遵守的正式规则包括“帮助他人”和“不得在河里呕吐”。这是第一个由权力阶层下达的我们或许可以认定为正式法律条文的案例。违反这些要求会付出很大的代价——犯罪分子据说会遭到恶神降予“伤寒”“黄疸”和“咳嗽”的惩罚，给他们带去疾病甚至死亡。

神也会借助俗世的统治者来行使自己的权力，这些统治者的权威来自他们与神之间的联系。在公元前18世纪第一个巴比伦帝国出现之时，一套基本上统一的有关自然的神学理论出现了，在这套理论中，一位伟大的神制定

了涵盖人和非生命世界行为的法律。[注]这套民法和刑法被称为《汉谟拉比法典》。它以巴比伦王的名字命名，该王在伟大的神马杜克的授权下“给大地带去公正的规则，去摧毁没有道德和作恶多端的人”。

《汉谟拉比法典》于公元前1750年在汉谟拉比去世前一年颁布。它并不是维护民主权利的典范：上层阶级和皇室被赋予优待，享受各种特权，而奴隶则可以被买卖，或者杀害。但这部法典确实含有公正的条款，和《摩西五经》一样都有“以眼还眼”的内容，但后者要到差不多1 000年之后才出现。比如，《汉谟拉比法典》规定任何犯下抢劫罪的人都将被处以死刑；趁灭火之机窃取财物的人将被投入火中；任何“神的姊妹”开酒馆都要被烧死；因为“过于懒惰”不去维护好自家水坝而引发洪水的人必须偿还每一粒被毁坏的玉米；向上帝发誓说自己遭到抢劫的人应该把别人托付给他的钱如数奉还。[注]

《汉谟拉比法典》的条文雕刻在一座8英尺（2.44米）高的黑色玄武岩上，很显然就是为了方便人们观看和参考。这块石头于1901年被发现，现在在卢浮宫展出。和金字塔不同，它并非一个伟大的物质成就，而是一个不朽的智力成就，它代表着一种将古巴比伦社会生活各个层面纳入一套秩序和理性的框架之中的尝试——内容涉及商业、货币、军事、婚姻、医药、道德等——迄今为止，它是人们发现的最早的一部由统治者为其子民制定的完整的法律体系。

正像我说的那样，人们相信马杜克不仅统治着他们，还掌管着他们的物质财富；他给天上的群星制定法律，就像他给俗世的人制定法律一样。所以在制定《汉谟拉比法典》的同时，马杜克还为自然制定了一种法规。这些统治我们称为“非生命世界”的法律构成了最初的科学定律，因为它们描绘的是自然现象的运行方式。[注]然而，它们并不是现代意义上的自然法则，因为它们只是模糊地描绘了自然是如何运行的；和《汉谟拉比法典》一样，它们是马杜克要求自然去遵守的命令和法令。

自然会像人一样“服从”规则的观点还将持续上千年。比如，古希腊最伟大的自然哲学家阿那克西曼德曾经说万事万物都来源于一种初始物质，最终也将变回这种物质，以免它们不得不“因为违背了时间的命令而为它们的不法行为缴纳罚金或者接受惩处”。[注]赫拉克利特也同样说过“太阳不会违反它的标准，否则（正义女神）将找到（并且惩罚）他”。[注]事实上，“天文学”这个表述来源于希腊语*nomos*，意思是“法律”，和人的法律属于同一种概念。直到17世纪初期的开普勒时代，“法律”的这个表述才开始以现在的意义被使用，它意味着一种建立在观察之上的概括，这种概括描述了某些自然现象的表现，但并没有试图去赋予它一个目的或者动机。

尽管如此，这一转变也并非突然，因为尽管开普勒偶尔会写一些数学定律，但他甚至相信是上帝命令宇宙去遵守“几何美感”的原则，他还解释称行星的运动很有可能是行星的“大脑”在判断它的角度，计算它的轨道之后产生的结果。注

* * *

历史学家埃德加·齐尔塞耳（Edgar Zilsel）曾经研究过科学定律概念的发展史，他写道：“人类似乎非常想以人类社会的形式去解释自然。”注换句话说，我们试图描述自然法则的尝试出自想要理解自己存在的天然意愿，而我们的经历以及我们成长的文化环境也在影响着我们探究科学的方法。

齐尔塞耳认为我们通过大脑创造故事来描绘我们的生活，我们把自己学到的和经历过的东西拼凑在一起，最后就形成了我们是谁以及我们在宇宙中的位置的世界观。由此我们形成了一组描绘自己个人世界以及生命价值的规则。在经历战争之前，引导我父亲生活的规则是社会的尊重、法庭的公正、市场上的食物——以及上帝的保佑。这就是他的世界观，他丝毫不怀疑这些规则的有效性，就像一个科学家坚信自己的理论经得起任何测试一样。

尽管恒星与行星间彼此牵引亘古不变，但在人类社会，颠覆法律也就是几个小时的事情。这就是1939年9月发生在我父亲以及无数人身上的事情。在此之前的几个月里，我父亲在华沙修完了时尚设计课，买了两台新的德国产缝纫机，并在邻居家的公寓里租了一间小屋子准备开一家裁缝店。那时德国开始侵略波兰，到9月3日打到了他的家乡琴斯托霍瓦。没过多久占领政府出台了一系列反犹法令，并开始没收任何有价值的东西——珠宝、汽车、收音机、家具、钱、公寓，甚至孩子的玩具。政府宣布犹太学校非法并将它们关闭。成年人被强迫戴上大卫之星的标志。人们在街上遭到大肆掠夺，并强迫参加体力劳动。那些狂人只要有兴致就可以随意开枪杀人。

这不仅摧毁了我父亲的物质世界，也无可挽回地改变了他的精神和情感支柱。然而可悲的是，大屠杀这样的故事一直以不同的规模多次上演，之前如此，此后亦然。所以如果我们人类的经历告诉了我们什么是科学规律，我们也就不会惊讶下面的发现：在人类历史的大部分时期，人类很难去想象一个被整齐的、绝对的规律统治的世界，而这些规则不会反复无常、缺乏目的，也不受制于神。

即使到了今天，在牛顿提出了他那套极其成功的定律之后很久，许多人依

然继续选择不去相信这些定律是普遍适用的。但是几个世纪的发展让科学家得到了回报，他们发现物理世界的定律和人类世界的法律遵循着完全不同的模式。

在爱因斯坦逝世前9年，76岁高龄的他这样描述他对毕生追求的宇宙物理定律的理解：“在远方有这样一个巨大的世界，它独立于人类而存在，在我们面前它仿佛是一个巨大的、永恒的谜题，我们只能通过观察和思考有限度地靠近它。对于这个世界的沉思意味着解脱……通往这个天堂的道路……证明了它的可靠，我从未后悔自己选择了它。”[注]从某种程度上讲，我认为我父亲在走到自己生命尽头的时候也会从那个想法中找到类似的“解脱”的感觉。

对于我们这个物种来说，乌鲁克只是破解这个永恒谜题的漫漫征途的开端。近东稚嫩的文明为人类的精神生活打下了基础——接着又在这个基础之上为我们带来了一群创造数学、书写语言以及法律概念的思想家。人类的思想将在希腊走向繁盛和成熟，这里距离近东超过1 000英里（1 609.34千米）。伟大的希腊奇迹孕育了数学求证的观念、科学和哲学学科，以及我们今天称为“推理”的概念——这发生在牛顿出生前的2 000年。

---

1. Robert Burton, in*The Anatomy of Melancholy* (1621); George Herbert, in*Jacula Prudentum* (1651); William Hicks, in*Revelation Revealed* (1659);Shnayer Z. Leiman, “Dwarfs on the Shoulders of Giants,”*Tradition,* Spring1993. Use of the phrase actually seems to go all the way back to the twelfthcentury.

2. Marc Van De Mieroop,*A History of the Ancient Near East* (Malden, Mass.:Blackwell, 2007), 21–23.

3. Ibid., 12–13, 23.

4. Some scholars estimate the population as high as 200,000. For example, seeJames E. McClellan III and Harold Dorn,*Science and Technology in WorldHistory,* 2nd ed. (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2006), 33.

5. Van De Mieroop,*History of the Ancient Near East,* 24–29.

6. McClellan and Dorn,*Science and Technology in World History,* 41–42.

7. David W. Anthony,*The Horse, the Wheel, and Language: How Bronze-*

AgeRiders from the Eurasian Steppes Shaped the Modern World (Princeton, N.J.:Princeton University Press, 2010), 61.

8. Van De Mieroop,*History of the Ancient Near East,* 26.

9. Marc Van De Mieroop,*The Ancient Mesopotamian City* (Oxford: OxfordUniversity Press, 1997), 46–48.

10. Van De Mieroop,*History of the Ancient Near East,* 24, 27.

11. Elizabeth Hess,*Nim Chimpsky* (New York: Bantam Books, 2008), 240–41.

12. Susana Duncan, "Nim Chimpsky and How He Grew,"*New York,* December 3,1979, 84. See also Hess,*Nim Chimpsky,*22.

13. T. K. Derry and Trevor I. Williams,*A Short History of Technology* (Oxford:Oxford University Press: 1961), 214–15.

14. Steven Pinker,*The Language Instinct: How the Mind Creates Language* (NewYork: Harper Perennial, 1995), 26.

15. Georges Jean,*Writing: The Story of Alphabets and Scripts* (New York:Henry N. Abrams, 1992), 69.

16. Jared Diamond,*Guns, Germs and Steel* (New York: W. W. Norton, 1997), 60,218. Regarding the New World, see María del Carmen Rodríguez Martinez et al., "Oldest Writing in the New World,"*Science* 313 (September 15,2006): 1610–14; John Noble Wilford, "Writing May Be Oldest in Western Hemisphere,"*New York Times,* September 15, 2006. These describe a block with a hitherto unknown system of writing that has recently been found in the Olmec heartland of Veracruz, Mexico. Stylistic and other dating of the block places it in the early first millennium b.c., the oldest writing in the New World, with features that firmly assign this pivotal development to the Olmec civilization of Mesoamerica.

17. Patrick Feaster, "Speech Acoustics and the Keyboard Telephone: Rethinking Edison's Discovery of the Phonograph Principle,"*ARSC Journal* 38, no. 1(Spring 2007): 10–43; Diamond,*Guns, Germs and Steel,* 243.

18. Jean,*Writing: The Story of Alphabets,* 12–13.

19. Van De Mieroop,*History of the Ancient Near East,* 30–31.

20. Ibid., 30; McClellan and Dorn,*Science and Technology in World History,* 49.

21. Jean,*Writing: The Story of Alphabets,* 14.

22. Derry and Williams,*A Short History of Technology,* 215.

23. Stephen Bertman,*Handbook to Life in Ancient Mesopotamia* (New York:Facts on File, 2003), 148, 301.

24. McClellan and Dorn,*Science and Technology in World History,* 47; AlbertineGaur,*A History of Writing* (New York: Charles Scribner's Sons, 1984), 150.

25. Sebnem Arsu, "The Oldest Line in the World,"*New York Times,* February 14,2006, 1.

26. Andrew Robinson,*The Story of Writing* (London: Thames and Hudson,1995), 162–67.

27. Derry and Williams,*A Short History of Technology,* 216.

28. Saint Augustine,*De Genesi ad Litteram* (*The Literal Meaning of Genesis*),completed in a.d. 415.

29. Morris Kline,*Mathematics in Western Culture* (Oxford: Oxford University Press, 1952), 11.

30. Ann Wakeley et al., "Can Young Infants Add and Subtract?,"*Child Development* 71 (November–December 2000): 1525–34.

31. Morris Kline,*Mathematical Thought from the Ancient to Modern Times,* vol.1 (Oxford: Oxford University Press, 1972), 184– 86, 259–60.

32. Kline,*Mathematical Thought,* 19–21.

33. Roger Newton,*From Clockwork to Crapshoot* (Cambridge, Mass.: Belknap Press of the Harvard University Press, 2007), 6.

34. Edgar Zilsel, "The Genesis of the Concept of Physical Law,"*The Philosophical Review* 3, no. 51 (May 1942): 247.

35. Robert Wright,*The Evolution of God* (New York: Little, Brown, 2009),71–89.

36. Joseph Needham, “Human Laws and the Laws of Nature in China and the West, Part I,”*Journal of the History of Ideas* 12 (January 1951): 18.

37. Wright,*Evolution of God,* 87–88.

38. “Code of Hammurabi, c. 1780 BCE,” Internet Ancient History Sourcebook,Fordham University, March 1998, accessed October 27, 2014, http://www.fordham.edu/halsall/ancient/hamcode.asp; “Law Code of Hammurabi, King of Babylon,” Department of Near Eastern Antiquities: Mesopotamia, the Louvre,accessed October 27, 2014, http:// www.louvre.fr/en /oeuvre-notices/law-codehammurabi-king-babylon; Mary Warner Marien and William Fleming,*Fleming’s Arts and Ideas* (Belmont, Calif.: Thomson Wadsworth, 2005), 8.

39. Needham, “Human Laws and the Laws of Nature,” 3–30.

40. Zilsel, “The Genesis of the Concept of Physical Law,” 249.

41. Ibid.

42. Ibid., 265–67.

43. Ibid., 279.

44. Albert Einstein,*Autobiographical Notes* (Chicago: Open Court Publishing,1979), 3–5.

5.推理

公元前334年，希腊马其顿王国年仅22岁的国王亚历山大率领着一支由久经沙场的公民战士组建的军队穿过达达尼尔海峡，开始了征服庞大的波斯帝国的漫长征程。巧合的是，在我写这本书时，我有一个22岁的儿子，他的名字——阿列克谢——与“亚历山大”有着同样的希腊词根。人们都说现在的小孩成长速度比任何时候都快，但有一件事情我是不敢想象的：我的阿列克谢带领着一群久经沙场的希腊公民战士在美索不达米亚对抗波斯帝国。关于这位年轻的美索不达米亚国王如何取得了胜利有不少历史传说，它们绝大多数都是酒后的胡言乱语。然而他确实取得了胜利，他漫长的征服之旅把他的足迹留在了开伯尔山口以及更远的地方。在他33岁去世那年，他在短短的一生中已经取得了足够多的成就，自此他就被人们称为亚历山大大帝。

在亚历山大入侵的时候，近东地区遍布着像乌鲁克这样的城市，它们已经存在了上千年。让我再说得明白一点儿：如果美国存在的历史有乌鲁克那么久，我们到现在应该有600位总统了。

沿着这些亚历山大曾经征服过的古城的街道漫步一定会引发惊叹，你会发现自己漫游于宏大的宫殿、由专门水渠灌溉的广阔的花园以及宏伟的石头建筑之中。这些石头建筑由顶部雕刻着狮鹫和公牛的柱子装饰。这里曾有着充满生机的复杂社会，根本没有衰退的迹象。然而他们的文化却在智力上被征服他们的讲希腊语的世界超越了，并被它年轻的领袖设为典范——这个人受过亚里士多德的言传身教。

亚历山大征服美索不达米亚以后，那种认为希腊的东西要更好的想法迅速传遍了整个近东地区。(注)儿童永远都是文化变迁的先锋军，他们学习希腊语言，背诵希腊诗歌，练习希腊摔跤。希腊艺术在波斯越来越流行。巴比伦牧师波路西斯、腓尼基人桑楚尼亚松以及犹太人弗莱维厄斯·约瑟夫斯都曾写过本民族的史书，目的在于展示他们和希腊观念的兼容性。甚至收税也希腊化了——人们开始使用相对较新的希腊字母表来做记录，信息被记录在纸莎草纸上，而不是用楔形文字记在泥简上。但亚历山大所带来的希腊文化最伟大之处和艺术或者管理无关，而是他直接从亚里士多德那里学来的东西：一种全新的、理性的认识世界的方法，这在人类思想史上是一个华丽的转折点。亚里士多德的思想是建立在之前许多代科学家和哲学家的劳动成果之上的，正是这些人挑战了关于宇宙的陈旧观念。

* * *

在古希腊初期，希腊人对自然的认知和美索不达米亚人并非完全不同。遇到恶劣的天气，人们会解释说这是因为宙斯消化不良，如果农民收成不好，人们会认为这是因为天神发怒了。在当时或许不会出现地球是患花粉热的神打喷嚏时喷出的黏液形成的这种创世神话，或许也会有，因为在文字发明1 000年之后，记录人类词汇的载体讲述了大量世界是如何形成的以及是什么力量统治世界的故事。但它们都有一个共同点，描绘动荡不安的宇宙，这个宇宙由一位来自某种无形空间的神秘莫测的天神创造。“chaos”（混沌）这个词来自希腊语对虚无的表述，据说这就是宇宙成形之前的状态。

如果说在宇宙成形之前一切都处于混沌状态，那在世界形成之后，希腊神话里的诸神似乎也没有投入多少精力给它带去秩序。闪电、风暴、干旱、洪水、地震、火山爆发、虫灾、意外、疾病——所有这些以及其他许多反常的自然灾害使人类付出了健康和生命的代价。这些天神自私、不忠、善变，他们不断地因为愤怒或者疏忽大意给人类带来灾祸，他们就像是瓷器店里的公牛，而我们就是那些易碎的瓷器。这是希腊人一代又一代口口相传的原始宇宙理论，直到公元前700年左右才由荷马和赫西奥德用文字记录下来，此时写作传入希腊文化已经有一个多世纪了。从那时起，这些理论就成为希腊教育的主要课程，形成了几代思想家被人们广泛接受的智慧。注

我们生活在现代社会，作为悠久的科学思想史的受益人，很难理解在古人眼里自然世界怎么会是这个样子。自然结构和秩序的概念对于我们来说显而易见，就像他们认为是神在控制着万事万物一样。今天，我们的日常活动以图表形式被量化，分配了一定的小时和分钟来完成某事。我们以经纬度来划分地球表面，我们用街道名和门牌号来标识我们的住址。今天，如果股票市场下跌了3%，专家将会给我们做出分析，比如这次下跌是出于对通货膨胀的担忧。另一位专家会说这主要是因为中国的发展，这倒是实情，还有1/3的人会将其归罪于太阳黑子的异常活动。无论正确与否，我们的分析都是基于起因和影响之上的。

我们需要世界的因果关系和秩序，因为这种概念在我们的文化和意识中根深蒂固，然而与我们不同的是，古人缺乏数学和科学的传统，以及现代科学概念框架——精确的数值推算的观念，重复实验将会产生相同结果的概念，以时间作为参照来跟进未展开的事项——这些对他们来说难以掌握或接受。在古人看来，自然世界似乎是由混乱统治的，对于他们来说，有序的物理定律之怪异就跟他们狂野善变的神的故事在我们的眼中是一样的（或者，有可能和1 000年之后的历史学家研究我们今天的宝贵理论时的感觉一样）。

为什么应该以人的智慧能发现的概念来预测和解释自然呢？阿尔伯特·爱因斯坦在发现时空会被扭曲成一块咸味饼干的形状时也不会感到惊讶，但他却因自然世界拥有秩序这个相当简单的事实万分吃惊。他写道：“人应该对一个混乱的世界有所预期，这个世界无法以任何形式被人的大脑所理解。”但是他又继续写道，与他的预期恰恰相反，“关于宇宙最不可理解的事情竟然是它可以被理解”。

牲畜理解不了把它们束缚在地球上的力量，乌鸦也对使它们飞翔的空气动力学一无所知。爱因斯坦表达了一个重要和独特的人类观察：秩序统治世界，掌管自然秩序的法则没有必要通过神话故事来解释。它们是可知的，人类拥有这个地球上其他生物所不具备的破译自然的蓝图的独特能力。这是一堂意义深远的课程，如果说我们可以破解宇宙的设计，我们就可以使用这种知识来理解我们在其中所处的位置，我们就可以试图操纵自然去创造使我们生活得更好的产品和技术。

理性地探究自然的新方法来自公元前6世纪生活在大希腊爱琴海岸的一群革命性的思想家。这片广阔的海湾分裂出了今日的希腊和土耳其。在亚里士多德之前的数百年间，与释迦牟尼和孔子将新的哲学传统带给印度和中国同一时期，这批最早的希腊哲学家里程碑式地转变了他们认识宇宙的概念，它不再是毫无规律可言，而是存在某种秩序，而非混沌状态。我们很难低估这一转变产生的深远影响，或者它自此塑造人类意识的程度。

这些激进的思想家成长于神奇的葡萄架下、无花果园中、橄榄树下以及繁华的世界性大都市。这些城市坐落在河流入海口和海水后退形成的海湾，以及通向内陆地区的道路的尽头。据希罗多德的说法，这里是“全世界空气和气候最好的”天堂。这个地方叫爱奥尼亚。

古希腊人在今天的希腊大陆和意大利南部建造了许多城邦，但它们只不过是一些省份而已——古希腊文明的中心在土耳其的爱奥尼亚，位于哥贝克力石阵和恰塔霍裕克以西数百英里。古希腊启蒙运动的先锋出现在米利都城，这座城市位于一个海湾的海岸边，拉特摩斯海湾，这一地理位置赋予它去爱琴海甚至地中海的便利条件。

按照希罗多德的说法，在公元前1世纪到来之前，米利都城是一个中等规模的聚居地，主要生活着加勒比人，他们是米诺斯人的后裔。在公元前1000年左右，来自雅典和其周边城市的士兵占据了这一地区。到公元前600年，新米利都城在某种程度上变成了古代的纽约，吸引着整个希腊寻求更好生活的贫穷但勤奋的人民。



经过几个世纪的发展，米利都城的人口数量增长到10万，它变成了财富与奢华的中心，在爱奥尼亚的城市中，甚至在整个希腊世界它都是最富有的城市。米利都城的渔民在爱琴海捕捞鲈鱼、红鲣鱼和蚌类。农民在这片富饶的土地上种植玉米和无花果——这是古希腊人知道的唯一可以长久保存的果实——同时，果园出产橄榄，既供食用，也用来榨油，制作古希腊版的黄油、肥皂和燃油。更重要的是，出海的便利使米利都城成为一个重要的贸易中心。像亚麻、木材、铁器和银器这样的商品从数十个米利都居民建立的殖民地被带到了这里，最远甚至来自埃及，而米利都城的能工巧匠制作的陶器、家具和上乘的羊毛织物则远销海外。

但米利都并不仅仅只是一个物资交换的十字路口，它也是人们分享思想的地方。在这座城市，数十种不同文化背景的人相遇、交流，并且米利都人四处闯荡，出现在了许多语言不同、文化各异的地方。所以，当它的居民为了咸鱼的价格讨价还价时，传统与传统相遇，迷信与迷信碰撞，这给新思维方式的产生和文化创新的出现提供了空间——特别是，人类最最重要的质疑传统智慧的意愿。更为重要的是，米利都城的财富给了人们闲暇时间，有了闲暇人们就能够投入到对有关存在的问题的思索当中了。因此，在如此众多的有利条件下，米利都城变成了一个复杂的、世界性的天堂，一个学术的中心，一场思想革命风暴所需的全部因素就此形成。

正是在这种环境中，米利都城以及后来爱奥尼亚更广大地区出现了一群思想家，他们开始质疑已经流传千年的对于自然的宗教和神话解释。他们就是那个时代的哥白尼和伽利略，哲学和科学的创立先驱。

据亚里士多德所言，第一个这样的学者名叫泰勒斯，生于公元前624年左右。据称许多古希腊的哲学家都生活在贫困之中。确实如此，假如古代能有今天这样的条件，哪怕是最著名的哲学家也会找一份更好的工作，比如在马路边卖橄榄，从而过上更优越的生活了。尽管哲学家生活贫困是一个惯例，但泰勒斯却是一个例外，他是一个精明的富裕商人，有着大把的时间去思索和推敲。有这么一个例子，据说他依靠囤积市场上的橄榄榨油机然后再以高昂的价格销售橄榄油而发了一笔大财，他简直就是一个人的“石油输出国组织”。据说他还积极参与到他所在城市的政治生活当中，并且同独裁者色拉西布洛斯私交甚好。

泰勒斯凭借自己的财富四处游历。在埃及，他发现埃及人尽管具有修建金字塔的专长，但却没有测量金字塔高度的见识。然而，正如我们知道的一样，他们发明了一套全新的计算法则去测算耕地的面积，并据此收税。泰勒斯通过改进埃及人的这些几何技术来计算金字塔的高度——他也向埃及人展示了如何使用这些方法测算船在大海中的航行距离。这让他在古埃及成为一位名人。

当泰勒斯回到希腊时，也带回了埃及人的数学知识，并将其翻译成了自己的语言。但在泰勒斯的手里，几何不仅仅是一件测量和计算的工具，它变成了一套依照逻辑运算的理论体系。他是第一个求证几何真理的人，而不只是简单地陈述看起来有用的事实结论，伟大的几何学家欧几里得后来将泰勒斯的部分理论纳入了他的《几何原本》中。注尽管泰勒斯的数学洞察力让人印象深刻，但真正使他出名的是他用来解释物理世界现象的方式方法。

在泰勒斯看来，自然并不是神话故事里的东西；它依照科学定律运行，这

些定律可以用来解释和预测原本被认为受到天神干预才产生的自然现象。据说他是第一个明白日食发生原因的人，也是第一个提出月亮发光其实是反射的太阳光的希腊人。

即使在错得离谱的时候，泰勒斯也以他思想和观念的原创性为人称道。我们来看一下他对地震的解释吧。在泰勒斯生活的时代，人们认为发生地震的原因是海神波塞冬发怒，用他的三叉戟敲击地面所致。但泰勒斯所持的观点在他们看来一定是非常荒谬的：发生地震和天神没有任何关系。他的解释和我从任何一个加利福尼亚理工学院地震学家朋友那里听到的都不一样——他认为世界是一块漂浮在无边水域上的半球，当水涌动时地震就发生了。就其意义而言，泰勒斯的分析无疑是开创性的，因为他试图将发生地震的原因归结为自然运行的结果，并且还使用经验和逻辑论据来支持他的观点，但最重要的或许是他将关注的重点放到了地震为什么会发生这个问题上。

在1903年，诗人雷纳·马利亚·里尔克给一个学生提出建议。“要耐心对待你心中的未解之事，试着去喜欢问题，”他写道，“去实践问题。”注这一建议不仅对诗歌有效，对科学也同样有效。科学研究中（在生意场上也常常如此）最重要的技能就是提出正确问题的能力——泰勒斯实际上创造了提出科学问题的概念。在他目力所及的范围，包括天空，他都能发现亟须解释的现象，他的直觉引导着他对这些现象进行思索，直至最终自然的基本运行方式为人所知。他提出的问题不只涉及地震，也涉及地球的体积和形状、节令日期、地球和太阳以及月亮之间的关系——正是这些同样的问题在2 000年之后引导着艾萨克·牛顿完成了地心引力和运动定律的伟大发现。

为了赞颂泰勒斯与过去进行了怎样彻底的决裂，亚里士多德将泰勒斯和后来的爱奥尼亚思想家称为第一批*physikoi*，或者物理学家——我对自己属于这样一个群体而感到自豪，亚里士多德也会觉得自己属于这个群体。这一表述来自希腊语*physis*，意思是“自然”，亚里士多德选择这个词去描述那些为各种现象寻找自然解释的人，与此相反的是*theologoi*，或者“神学家”，这些人寻求超自然的解释方法。

然而，亚里士多德却并不欣赏另一个激进的群体：那些使用数学去塑造自然的人。这一创新要归功于泰勒斯之后那一代中的一位思想家，他和生活在爱琴海萨摩斯岛的泰勒斯相距并不遥远。

* * *

我们当中有部分人的工作就是试图弄明白宇宙是如何运行的，另外一些人没有精通代数运算。在泰勒斯的时代，前一群体的成员也属于后一群体，

因为正像我们看到的那样，我们所知的代数——以及数学领域其他的分支——彼时尚未被发明。

对于今天的科学家来说，在不使用方程式的条件下去理解自然的困难程度，就跟你想去理解自己伴侣的感受时对方只说一句“我还好”一样。因为数学是科学的语言——它是理论概念交流的方式。我们科学家或许不太擅长使用语言来表达个人思想，但我们却对利用方程式表述理论得心应手。数学语言帮助科学更深入地发掘理论的意义，这要比普通语言更具洞察力和精确性，因为它是一种具有内在推理和逻辑规则，并且含义不断扩展的语言，这让它有时候会以一种意想不到的方式展现在人们眼前，回荡在人们心中。

诗人使用语言描绘他们观察到的事物，而物理学家使用数学。诗人写完诗后他的工作就算完成了，而物理学家写完一首数学“诗”后，他的工作才刚刚开始。通过使用数学规则和理论，物理学家将诗变成了一堂具有启发性的自然新课程，甚至连它的原作者都料想不到。因为数学公式不仅蕴含概念，还会为那些有足够技巧和耐性去提炼它们的人提供这些概念的推理。这就是数学语言取得的成就：它增强了物理定律的表达效果，阐明了它们之间的关系，引导着人们推理求证的过程。

然而在公元前6世纪初期，没有人知道这一点。人类还没有形成数学能够帮助我们理解自然运行方式的概念。正是毕达哥拉斯（约公元前570—前490）——古希腊数学的奠基人，“哲学”表述的创造者，全世界中学生的噩梦（他们不得不停止发短信，花费大量时间学习$a^2+b^2=c^2$的意义）——首先帮助我们把数学作为表达科学概念的语言来使用的。

在古代，毕达哥拉斯这个名字不仅和天才挂钩，而且还含有魔法和宗教意味。注 如果他单纯只是一个物理学家而没有做教皇的话，他很有可能会被视为爱因斯坦一类的人物。通过后来许多作家的作品我们对毕达哥拉斯的生活有了很多了解，也有不少关于他的传记。但到耶稣出现后的最初几个世纪里，关于他的传说变得没有可信度，并受到某种宗教和政治动机的玷污，许多作家受到这些动机的影响，歪曲了他的观点并且放大了他在历史上的地位。

有一件事情倒是事实，毕达哥拉斯在米利都城海湾对面的萨摩斯岛长大。并且，他所有的传记作者都认为他在18到20岁之间拜访了泰勒斯。泰勒斯那个时候应该很老了，将不久于人世。泰勒斯知道自己年轻时的聪明才智早已退化，据说他还为自己萎靡的精神状态向毕达哥拉斯道歉。不知泰勒斯教授了他什么课程，毕达哥拉斯离开的时候受到了触动。许多年后，人们还会偶尔看到他坐在家里，为他的先师唱着赞歌。

和泰勒斯一样，毕达哥拉斯也游历了很多地方，或许去过埃及、巴比伦和腓尼基。在他40岁的时候，他感到在这个小岛的暴君波利克拉特斯的统治下生活难以忍受，便离开萨摩斯岛去了科朗顿，科朗顿位于今天意大利的南部。在那里，他吸引了大批的追随者。据说也是在那里他发现了物质世界的数学规律。

没有人知道人类最初是如何发明语言的，尽管有时候我会想象某个穴居人碰断了脚指头，痛得不由自主地脱口而出，啊！这时有人会想，这种表达感情的方式真是太新奇了，于是不久大家都开口讲话了。数学作为科学的语言，它的起源也有着某种神秘色彩，但要真是那样的话我们至少也有一个描绘它的传奇故事了。

根据传说，某天毕达哥拉斯走过一家铁匠铺，听到铁匠在打铁时铁锤发出的声音，他留意到不同的铁锤在击打铁块时所发出的音调有一个模式。毕达哥拉斯跑进铁匠铺里拿起铁锤做实验，最后发现音调的差别不是由敲打铁块的人用了多少力气决定的，也不是由铁锤的具体形状决定的，而是由铁锤的大小，或者说，它们的重量决定的。

毕达哥拉斯回到家里继续他的实验，不再用铁锤，而是用不同长度和松紧度的绳子。就像许多希腊的年轻人一样，他学过音乐，特别是笛子和里拉琴。在当时希腊的乐器只是猜测、经验和直觉的产品。据说毕达哥拉斯在实验中发现了控制弦乐器音色的数学定律，使用这种定律可以确定乐器弦的长度和它们产生的音调之间的精确关系。

今天我们会用声音的频率和弦的长度成反比这样的话来描述毕达哥拉斯发现的这种关系。举个例子，假设一根弦在拨动时会产生一定的音符。按住这根弦的中部它会发出一个更高的音——这时的频率是原来的两倍。按在这根弦的1/4处它的音调又会上升一个高度，是原来频率的4倍。

毕达哥拉斯是否发现了这种关系？没有人知道关于毕达哥拉斯的传说在多大程度上是真实可信的。比如，他很有可能并没有证明那个让中学生痛苦不堪的“毕达哥拉斯理论”（勾股定理）——人们相信它是由毕达哥拉斯的一名追随者首先证明的，但这个公式已经存在好几个世纪了。姑且不论这些，毕达哥拉斯真正的贡献不在于他得出了什么具体的定律，而是在于他推广了宇宙是依照数字关系构建的这个概念，他的影响力不是因为他发现了自然世界的数字联系，而是来自他对其的颂扬。正如古典学者卡尔·霍夫曼所言，毕达哥拉斯之所以重要“是因为他赋予了数字荣誉，是他把数字带离实用的贸易领域，是他指明了数字和事物之间性质的相似性”。注

泰勒斯说自然世界遵循某种秩序法则，毕达哥拉斯由此更进一步，他断言自然世界遵循数学法则。他宣称数学法则是宇宙的基本事实。毕达哥拉斯

学派相信数字才是事实的本质。

毕达哥拉斯的观点对后期的希腊思想家们产生了巨大的影响——最明显的就是柏拉图——也包括整个欧洲的科学家和哲学家。但在那些相信宇宙可以通过理性分析被认知的古希腊推理大师和伟大的学者们之中，到目前为止对于未来科学发展影响力最大的人不是发明了理性分析的泰勒斯，也不是把数学带入理性分析的毕达哥拉斯，甚至也不是柏拉图，而是柏拉图的学生，这个学生后来成为亚历山大大帝的导师：亚里士多德。

* * *

亚里士多德（公元前384—前322）出生在希腊东北部小镇斯塔吉拉，他的父亲是亚历山大的祖父国王阿闵塔斯的私人医师。亚里士多德很小的时候就成了孤儿，在17岁那年被送往雅典的柏拉图学院学习。自柏拉图之后，“学院”这个词开始有了学习之地的意思，但在当时，“学院”只不过是雅典郊外一个树木葱茏的公共花园的名字而已，柏拉图和他的学生喜欢在这里集会。亚里士多德在这里待了20年。

公元前347年柏拉图去世时，亚里士多德离开了学院，几年之后他成为亚历山大的导师。国王菲利普二世选择他作为儿子导师的原因我们不得而知，因为亚里士多德在当时还没有什么名气。然而对于他来说，成为马其顿王国储君的导师一定是一个好主意。他得到了丰厚的报酬，当亚历山大征服波斯和世界其他地区的时候，他也获得了其他的利益。但在亚历山大即位之后，当时即将50岁的亚里士多德回到了雅典，在那里他花费了13年的时间创作出了让他名垂青史的大部分作品。他再没有和亚历山大见面。

亚里士多德讲授的科学极有可能和他从柏拉图那里学到的不一样。亚里士多德在学院里是优等生，但他对柏拉图强调数学学习的要求一直感觉不自在。他自己更倾向于细致的自然观察，而非抽象的定律——这和柏拉图式的科学以及我们今天从事的科学都不一样。

高中的时候我最爱上的课是化学和物理。看到我对化学和物理那么痴迷，我父亲有时候会让我解释这些科学给他听。他出生在一个贫穷的犹太家庭，只能负担得起他上一所当地的宗教学校，他接受的教育关注更多的是安息日理论，而非科学理论，因为他只上到七年级，看来我有一大堆工作要做呢。

我们的探索开始于我告诉他物理主要研究一件事情：变化。父亲认真想了一会儿然后咕哝了一声。“你知道什么变化，”他对我说，“你还太小，你从来没有经历过什么变化。”我抗议说我当然经历过变化，但他用一种古老的意第绪语表达方式回应我，这种话听起来要么深沉要么白痴，主要看你

对意第绪语的忍耐程度。“有变化，”他说道，“确实有‘变化’。”



亚里士多德和柏拉图（左）

来自拉斐尔的壁画作品

是的，在物理学中，只有变！化！实际上，可能有人会说牛顿对于创造今天我们所知的物理学的主要贡献是他提出了一套完整的数学方法，这种方法可以用来描述所有的变化，不管它的性质如何。亚里士多德的物理学——起源于牛顿之前2 000年的雅典——在理解世界时主要依靠直觉，而非数学方法，我认为这种方法或许对我父亲而言更容易理解一些。于是，抱着找到什么东西可以让我更轻松地给他解释事情的希望，我开始阅读亚里士多德关于变化的概念。经过一番努力，我了解到尽管亚里士多德讲的是希腊语，也从来没有说过一句意第绪语，他所深信不疑的是这个：“有变化，确实有‘变化’。”

在我父亲的版本中，第二个“变化”听起来很不吉利，他的意思是这个词表达了纳粹侵略波兰之后他所经历的那种惨痛的变化。普通变化和自然变化之间的差异，还有它和暴力变化之间的差异，都同属于亚里士多德所说的差异：他相信人们观察到的所有自然转变都可以被归类为自然的或者暴力的。

在亚里士多德关于世界的理论中，自然变化产生于物体自身。注 换句话说，自然变化的诱因是物体固有的性质或者构成。比如，我们称为运动的这种变化——位置的变化。亚里士多德相信万物都是由四种基本物质以不同的组合形式构成的——土、气、火和水——每一种都有内在的运动倾向。岩石掉到地上，雨水落入大海，在亚里士多德看来，这是因为大地和大海是那些物质天然的栖息之地。把一块石头抛向天空需要外在的干预，而当它降落时，它遵循着自己内在的倾向完成了“自然”运动。

在现代物理学中，我们并不需要解释为何一个物体会保持静止状态，或者当它受到某一方向持续作用力的时候会保持匀加速运动状态。同样，在亚里士多德的物理学中，并不需要解释为何物体会完成自然运动——为何由土和水构成的东西会掉下来，或者为何气和火会上升。这种分析是对我们所看到的世界的反映——水泡从水里升出，火焰看起来升到空气里，大型物体从天空降落，海洋栖身于陆地，大气则在一切之上。

对于亚里士多德而言，运动只不过是许多自然过程中的一种，就像生长、腐烂和发酵一样，都遵循相同的法则。他将所有形态的自然变化——木头燃烧、人体衰老、鸟儿飞翔、橡子坠落——视为内在潜能的实现。在亚里士多德的信仰体系里，自然变化推动着我们的日常生活。这是一种不会使人感到讶异的变化，我们对此习以为常。

但有的时候事情发展的自然过程会被打断，运动或者变化是外部事物强加的。比如石头被抛向天空，葡萄藤被连根拔起，鸡被宰杀当作食物，或者你丢了工作，或者法西斯占领了某块大陆。这些都属于亚里士多德所说

的“暴力”变化。

根据亚里士多德的论述，暴力变化是指物体的变化或者移动的方向违背了其本性。亚里士多德试图理解这种变化的诱因，并为其选择了一个术语：作用力。

和关于自然变化的概念一样，亚里士多德关于暴力变化的学说与我们在自然世界中观察到的现象高度吻合——比如固体物质会自己坠落，但要想让它沿着任意方向运动，比如向上或者向侧面，就需要用到“作用力”，或者“力量”。

亚里士多德对变化的分析值得称道，因为尽管他看到的周围的现象和他同时代的其他伟大思想家所看到的一样，但和他们不同的是，他挽起袖子，对变化展开了一种前所未有的、百科全书式的细致观察——包括发生在人们生活和自然世界里的变化。为了找到不同种类的变化之间的相同点，他研究事故的原因、政治的动力、公牛负重时的运动、小鸡胚胎的生长、火山的爆发、尼罗河三角洲的变化、行星的运动、水的蒸发、多胃动物消化食物、物体融化和燃烧的方式。他解剖各种各样的动物，有时甚至远远超过了它们应该被卖掉的日期，但如果有人因为异味抗议的话，他只是报以嘲讽。

亚里士多德将他创造的一个系统性的表述变化的尝试称为“物理学”——由此他将自己和泰勒斯留下的思想遗产联系在了一起。他的物理学范围很广，囊括了生命和非生命物质，以及宇宙和地球上所发生的各种现象。时至今日，他所研究的变化的不同类别构成了整个科学分支的研究主题：物理学、天文学、气候学、生物学、胚胎学、社会学，等等。实际上，亚里士多德还是一个高产的作家——一个货真价实的维基百科式的人物。他的贡献包括一个没有强迫症的人所能完成的一些最为庞杂的研究。众所周知，他发表了——根据古代文献资料记载—170篇学术作品，其中有1/3保存至今，比如《气象学》《宇宙哲学》《伦理学》《政治学》《修辞学》《诗学》《天堂论》《论生成与毁灭》《论灵魂》《论记忆》《论睡眠》《论梦》《论青年、老年及死亡》《动物志》，等等。

当他曾经的学生亚历山大去征服亚洲的时候，亚里士多德回到了雅典，并创办了一所名为莱森（Lyceum）的学校。在那里，他一边行走在公共步行道上或者漫步于花园里，一边给他的学生教授这些年来他学到东西。

注 尽管他是一名优秀的老师，一位才华横溢且高产的自然观察者，但亚里士多德研究知识的方式与我们研究在今天被称为科学的知识的方式大相径庭。

* * *

按照哲学家伯特兰·罗素的说法，亚里士多德是“第一个像教授一样写作的人……一位职业教师，而不是一个受到启示的先知”。[注]罗素把亚里士多德称为“被常识稀释过的”柏拉图。亚里士多德确实非常看重常识这一特质。我们大多数人都是如此。常识会制止我们回复那些来自尼日利亚骗子的电子邮件，在邮件中那些家伙许诺说只要我们今天给他们汇去1 000美元，他们保证明天返给我们1 000亿美元。然而，现在我们再回过头看亚里士多德的观点，基于我们现在所了解到的东西，有人会争辩说我们正是在亚里士多德对于传统观念的投入中发现了他研究科学的方式和今天我们研究科学的方式之间一个最大的不同——这也是亚里士多德的物理学中最大的缺陷之一。因为尽管常识不可轻视，但有时候我们还是需要一些“非常识”的东西。

为了在科学研究中取得进展，你经常会藐视历史学家丹尼尔·布尔斯廷所说的“常识暴政”。[注]比如，常识就是你用力推一个物体它就会滑动，然后逐渐慢下来直到停止不动。但为了找出运动的根本定律，你必须像牛顿那样透过表面现象去想象在一个理论上没有阻力的世界里物体会如何运动。同样，为了弄明白摩擦的原理，你必须越过物质世界的外墙去“看”物体是怎样由不可见的原子构成的，原子的概念由留基伯和德谟克里特斯提出，早出亚里士多德一个世纪，但亚里士多德并没有接受。

亚里士多德也对普遍意见，以及他那个时代的惯例和观念表现出极大的服从。他写道：“所有人都相信的就是真的。”[注]对于怀疑者，他说道：“摧毁了这个信仰的人将很难找到一个更可靠的信仰。”有一个例子生动地展现了亚里士多德对传统智慧的依赖——以及它如何扭曲了亚里士多德的远见卓识——他有点别扭地辩解说奴隶制度（他和大部分雅典市民都接受）是物质世界固有的性质。他使用一种让人能联想到他的物理著作的奇怪论证方法宣称“所有的事物，无论是整体还是由不同部分构成，统治元素和被统治元素之间的差异众所周知。这种二元性存在于生物当中，但不限于生物；它来源于宇宙的构成”。[注]亚里士多德声称正是由于这种二元性，人才会被划分成自由人，以及本质就是奴隶的人。

今天的科学家和创新者常常被描绘成古怪和不按常理出牌的人。我想这种刻板印象是有一定道理的。我认识的一个物理教授每天会在咖啡馆配料桌上提供的免费赠品中选择他的晚餐。蛋黄酱提供脂肪，番茄酱当作蔬菜，咸味饼干是他的碳水化合物。另一位朋友喜欢冷盘但却讨厌面包，在餐馆里可以心安理得地只点一堆意大利腊肠当作晚餐，他还拿着刀叉，好像那就是一块牛排。

对于科学家或者任何谋求创新的人来说，传统思想可不是一个好态度，不遵循传统思想有时候还会影响别人看待你的方式。但正如我们一直看到的那样，科学是成见和权威的天敌，即便对科学机构权威自身也是如此。要想取得革命性的突破，必须具备公然对抗人人都相信的事实的意愿，并能用可信的新观念替代旧观念。实际上，如果说在科学发展史和普遍的人类思想中存在着一个阻碍进步的障碍，那就是对于过去——以及现在的——观念的愚忠。所以如果我要为某个创新职位招人的话，我要当心那些具备太多常识的人，但我会特别看重附加栏里填写的古怪特质，并保证配料桌上的东西源源不断。

* * *

亚里士多德的研究方法和后来人们研究科学的方法之间另一个重要冲突是他的方法是定性的，而非量化的。今天的物理学，即使在简单的高中课本里，也是一门量化的科学。哪怕只上过最初级的物理课，学生也知道一辆汽车每小时行驶了60千米，它的速度就是每分钟1千米。他们也知道如果你扔一个苹果，它将会以9.8m/s²的加速度降落。他们也会进行数字运算，比如计算出当你猛然坐在椅子上时，椅子施加在你脊柱上的力是多少——仅仅一瞬间——超过了1 000磅（453.60千克）。亚里士多德的物理学不是这样的。恰恰相反，他大声抱怨那些试图把哲学变成“数学”的哲学家。(注)

在亚里士多德的时代，任何试图将自然哲学转变成量化追求的努力都会毫无意外地遭遇古希腊知识界的阻力。亚里士多德没有秒表，或者带秒针的钟表，他也没有接触过依照精确周期思考事物的观念。并且，处理数据所需的代数和算术知识也并不比泰勒斯时代的更先进。正如我们看到的那样，那时加号、减号和等号还没有被发明，人们也没有形成数字体系或者像“每小时几千米”这样的概念。但13世纪以及后来的学者利用仪器和并没有多先进的数学知识在量化物理学中取得了进展，所以这些并不是有关公式、测量和数字估算的科学的唯一障碍。更重要的事实是，和其他人一样，亚里士多德只是单纯地对量化表述没有兴趣而已。

即使在研究运动时，亚里士多德的分析也只和性质有关。比如，对于速度他只有一个模糊的理解——像是“在相同时间内某些东西要比其他的走得更远”。对于我们来说，这听起来有点儿像是在吃幸运饼干时在里面发现的字条，但在亚里士多德的时代，人们认为这种表述已经足够精确了。由于对速度只有性质上的概念，所以人们对于加速度的概念也是极为模糊的，加速度是物体运动时速度和方向的改变——我们早在高中就开始学习了。在差异如此巨大的情况下，如果有人使用时间机器回到过去给亚里士多德一本牛顿物理学课本，在他眼中这本书和微波炉意面食谱相差无几。

他非但理解不了牛顿所说的“作用力”或“加速度”的概念——他甚至不关心这些东西。

在亚里士多德进行细致观察的时候，真正让他感兴趣的是运动以及其他类型的变化看起来总会朝着某个终点发展。比如，在他的理解中运动是无法被测算的，是一种目的可被识别的现象：马拉车是为了让车在路上运动；山羊走动是为了觅食；老鼠逃跑是避免被吃掉；雄兔和雌兔交配是为了生出更多的兔子。

亚里士多德相信宇宙是一个巨大的和谐运行的生态系统。他到处都能发现目的。下雨是因为植物生长需要水分。植物生长是为了给动物提供食物。葡萄种子长成了葡萄藤，鸡蛋孵化出了小鸡，这都是将原本就存在于这些种子和鸡蛋里的潜能变成现实的过程。自古以来，人们总是按照自己的经验去理解世界。所以，在古希腊，人们以事物的目的来分析物质世界，而不是用毕达哥拉斯和他的追随者发明的数学理论去解释世界就非常自然了。

在这里，我们又一次见识到了在科学领域你选择提出的问题的重要性。即使亚里士多德接受了毕达哥拉斯关于自然遵循量化定律的概念，他也会抓不住重点，因为他只是单纯地对这些定律中的量化细节缺乏兴趣而已，更吸引他的是关于物体为什么会遵循这些定律的问题。是什么让乐器上的琴弦或者坠落的石块按照数字规律运动？这才是让亚里士多德产生兴趣的问题，也是在这里我们看到了亚里士多德的哲学思想和现代科学研究展开方式之间的最大分歧——亚里士多德以“目的”来解释自然世界，今天的科学研究却不会。

亚里士多德分析问题——寻找目的——的特点对于后来人们的思想产生了巨大的影响。这让各个时期的许多基督教哲学家对他推崇备至，但也在近2 000年的时间里阻碍了科学的进步，因为它和今天指导我们调查研究的强大的科学定律完全不能兼容。当两个撞球碰撞时，是由牛顿首先提出的物理定律——而非什么宏大的根本目的——决定接下来会发生什么。

科学最早产生于人类试图了解世界并从中发现意义的基本欲望，所以时至今日，曾经启发过亚里士多德的对于目的的渴望仍然可以引发许多人的共鸣就不会让人感到惊讶了。“事出有因”这种观念或许能给那些寻求理解自然灾难或其他悲剧的人以慰藉。在这些人看来，科学家坚持认为宇宙并没有受到某种目的的支配，让这些科学定理看上去冷酷和没有灵魂。

然而我们还有另外一种看待世界的方式，因为我父亲的缘故我对它很熟悉。当出现关于目的的问题时，我父亲不会提到曾经发生在他身上的事情，但他会经常提起我母亲经历过的一件特别的事情，那时我母亲才17

岁，他们还不认识。纳粹占领了她的城市，其中一个人不知出于什么原因命令十来个犹太人——我母亲也在其中——在大雪中跪成整齐的一排。这个人从一头走到另一头，每走几步就会停下来拿枪射穿一个俘虏的脑袋。如果这是上帝或者自然的宏伟计划的一部分，我父亲不想和这个上帝有任何关系。无论我们的生命有多悲惨或多成功，都和恒星爆炸一样是同一种冷漠定律的结果，无论是好是坏，生命都是一件礼物，一个从统治我们世界的那些枯燥无味的公式中诞生的奇迹，对于像我父亲这样的人，只要想到这些，他们就能够得到安慰。

* * *

尽管在牛顿之前亚里士多德的观点一直统治着关于自然世界的思想，但随着时间的推移，有大量的观察者开始对他的理论产生怀疑。例如，考虑一下这种情况，没有完成自然运动的物体只有在施加一个作用力后才会移动。亚里士多德自己意识到这个问题涉及在初始推动力之后，是什么推动弓箭、标枪，或者任何其他投射物继续前进。他的解释是因为自然“厌恶”真空，在初始推动力之后空气中的微小颗粒跟在这些投射物的后面，继续推动它们运动。但即使是亚里士多德本人对于自己的理论也不是太热心。到了14世纪这种解释的漏洞越发明显，火炮的发明与传播使这种空气微粒跟在沉重的炮弹后面推动它前进的观念十分荒谬。

同样重要的是，发射这些炮弹的士兵并不关心是空气微粒还是微小的、无形的仙女推动炮弹前进。他们想要知道的是炮弹会沿着怎样的弹道运动，特别是这些弹道会不会让炮弹落在敌人头顶上。这些分歧展现了横亘在亚里士多德和后来自称为科学家的人之间真正的鸿沟：像抛射物的运动轨迹这样的问题——它在不同瞬间的速度和位置——不在亚里士多德考虑范围内。但如果有人想利用物理定律做预测的话，这些问题就变得至关重要了。所以，最终取代了亚里士多德的物理学，并让计算炮弹的弹道轨迹成为可能的自然科学主要研究的是世界运行过程中的量化细节——可测量的作用力、速度以及加速度——它们都不是世界运行过程的目的或者哲学原因。

亚里士多德也清楚自己的物理学并不完美。他写道：“我的物理学只是第一步，因而也是很小的一步，尽管它花费了我很多的思考和辛苦劳动。人们必须以第一步的眼光看待它，并以宽容的态度去评价它。你，我的读者或者我讲座的听众，如果你认为作为一个开局我已经做到了我所能做到的一切……将会认可我的成就，也会原谅我将余下的工作留待他人去完成。”(注)通过这句话，亚里士多德表达了一种他和后来的绝大多数物理天才共有的情感。我们认为他们，牛顿们和爱因斯坦们，对于他们的知识是无所不知的，自信的，甚至傲慢的。但正如我们看到的那样，他们和亚里

士多德一样对于很多事情深感困惑，他们也和亚里士多德一样明白这一点。

* * *

亚里士多德于公元前322年逝世，享年62岁，死于胃病。一年前，在他曾经的学生亚历山大死后，支持马其顿人的政府被推翻，亚里士多德从雅典逃走。尽管亚里士多德在柏拉图学院待了20年，他总感觉自己在雅典像是一个局外人。关于那个城市，他写道："同样的事情雅典市民可以做而陌生人做就不恰当，留下来很难。"注 然而随着亚历山大的离世，去留的问题变得至关重要，因为当时有一股危险的反击指向任何与马其顿有关联的人，亚里士多德很清楚因政治原因而被处决的苏格拉底树立了用一杯毒堇汁回应任何哲学辩论的先例。亚里士多德从来都是一位深刻的思想家，他产生了逃跑的念头，而不是冒险当一名烈士。他为自己的决定找到了一个高尚的理由——避免雅典人再一次犯下"对抗哲学"的罪孽——但这个决定，就和他探究日常生活的方法一样，是非常实用的。注

在亚里士多德死后，他的思想被莱森学院一代代的学生以及写关于他作品的评论文章的人传承下来。在中世纪初期，他的理论和其他学习活动一起消失了，但在中世纪鼎盛时代的阿拉伯学者中间又一次变得重要起来，随后又从他们这里传给了西方学者。他的思想经过部分修正最终成为罗马天主教会的官方哲学。所以，在接下来的19个世纪里，研究自然世界就意味着研究亚里士多德。

我们已经目睹了人类如何进化出能够提问的大脑以及提问的天性，以及工具——书写、数学以及律法的概念——并使用它来回答那些问题。和希腊人一起，通过学习使用推理去分析宇宙，我们到达了一个辉煌的科学新世界的彼岸。但这仅仅是一个更伟大的探险之旅的开端。

---

1. 上完课后，学生会被抹上油按摩。我常常在想，如果上课时给我的学生提供这么一个选项，那将很容易增加我在他们当中受欢迎的程度，但不幸的是，这很有可能会在学校管理层那里产生完全相反的效果。

2. Daniel C. Snell,*Life in the Ancient Near East* (New Haven, Conn.: Yale University Press, 1997), 140–41.

3. A. A. Long, "The Scope of Early Greek Philosophy," in*The CambridgeCompanion to Early Greek Philosophy,* ed. A. A. Long (Cambridge, U.K.:Cambridge University Press, 1999).

4. Albert Einstein to Maurice Solovine, March 30, 1952,*Letters to Solovine* (NewYork: Philosophical Library, 1987), 117.

5. Albert Einstein, “Physics and Reality” in*Ideas and Opinions*, trans. SonjaBargmann (New York: Bonanza, 1954), 292.

6. Will Durant,*The Life of Greece* (New York: Simon and Schuster, 1939),134–40; James E. McClellan III and Harold Dorn,*Science and Technology inWorld History,* 2nd ed. (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2006),56–59.

7. Adelaide Glynn Dunham,*The History of Miletus: Down to the Anabasis ofAlexander* (London: University of London Press, 1915).

8. Durant,*The Life of Greece,* 136–37.

9. Rainer Maria Rilke,*Letters to a Young Poet* (1929; New York: Dover, 2002),21.

10. Durant,*The Life of Greece,* 161–66; Peter Gorman,*Pythagoras: A Life*(London: Routledge and Kegan Paul, 1979).

11. Carl Huffman, “Pythagoras,” Stanford Encyclopedia of Philosophy, Fall 2011,accessed October 28, 2014, http://plato .stanford.edu/entries/ pythagoras.

12. McClellan and Dorn,*Science and Technology,* 73–76.

13. Daniel Boorstin,*The Seekers* (New York: Vintage, 1998), 54.

14. Ibid., 316.

15. Ibid., 55.

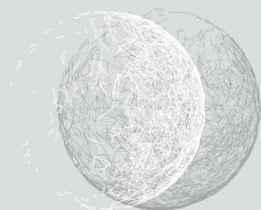
16. Ibid.

17. Ibid., 48.

18. See George J. Romanes, “Aristotle as a Naturalist,”*Science* 17 (March 6,1891): 128–33.

19. Boorstin,*The Seekers,* 47.

20. “Aristotle,” The Internet Encyclopedia of Philosophy, accessed November 7,2014, http://www.iep.utm.edu.



第二部分
科学

平静的过去的那些信条不适用……所以我们必须以新的方式思考和行动。

——亚伯拉罕·林肯，
第二年度国情咨文
1862年12月1日

6.新的推理方式

我曾经有过两段与别人合作写书的经历，他们是物理学家史蒂芬·霍金以及精神领袖迪帕克·乔普拉。假使他们生活在不同的宇宙里，他们的世界观也不会像现在这样天差地别。我看待生命的眼光和史蒂芬的比较相像——都是科学家式的。但这与迪帕克的世界观大相径庭，这或许也能说明为什么我们会把我们的书命名为《世界之战：科学与灵性如何决定未来》(注)（*War of the Worldviews*，直译为“世界观之战”），而不是《我们对所有事情的看法都一致该多好啊》。

迪帕克对他的信仰很有热情，在我们一起出游的日子里他总是会试图改变我的世界观，并且质疑我理解世界的方式。他把我称为“还原论者”，因为我相信物理世界的数学定律可以从根本上解释自然世界里的万事万物——包括人类自身。特别是，正如我说的那样，我和今天的绝大多数科学家一样相信万事万物——再次包括我们自己——是由原子和其他物质基本粒子构成的，它们通过自然世界的四种基本力相互作用，我们也都相信如果一个人理解了它们是如何作用的，他至少在原则上能够解释世界上所发生的一切。当然在现实中我们要么缺少关于我们环境的足够多的信息，要么缺少一台足够强大的电脑去利用我们的基本理论分析人类行为等现象，所以迪帕克的大脑是否受到物理定律的控制这个问题还有待解决。

原则上我并不反对迪帕克把我描绘成一个还原论者，但当他开口这么说时我就会很恼火，因为他说话的方式让我感到尴尬和被动。实际上，在迪帕克支持者的聚会上，我经常会被问到的主要问题有：“当我在欣赏弗美尔的画作或者贝多芬的交响乐时，你的公式能够告诉你我的感受吗？”或者“如果我太太的大脑真的是由粒子和波构成的，你怎么解释她对我的爱呢？”我必须承认我无法解释她对他的爱。另一方面，我也无法利用公式解释任何一种爱。对于我来说，这有些跑题了。因为作为一种理解物理世界，而非我们精神体验（至少目前不是）的工具，数学公式的应用已经取得了前所未有的成功。

我们或许无法通过追踪每一个原子的运动并利用原子和核子的基本定律来计算出下一周的天气，但我们的气象学里确实有一门使用高端数学模型的学科，而且在预测第二天的天气方面的表现还是不错的。同样，我们研究海洋、光和电磁学、材料性质、疾病以及我们日常世界里的数十个领域，并把这些科学知识运用到实际应用当中，这在过去几百年前是做梦也想不到的。今天，至少在科学家当中，我们在利用数学方法帮助理解物理世界的有效性上已经达成了广泛的共识。然而这一观念却花费了很长时间才流

行起来。

现代科学作为一种形而上学体系是建立在自然世界依照某种规律运行这种观念之上的，古希腊人最早开始接受这种观念；但直到17世纪之前，科学并没有利用这些规律获得让人信服的成功。从泰勒斯、毕达哥拉斯以及亚里士多德这些哲学家的观点变为伽利略和牛顿的观点，是一次巨大的飞跃。并且，这种转变并不需要花费2 000年的时间来完成。

* * *

横亘在接受和传承古希腊遗产之路上的第一个巨大障碍是罗马在公元前146年对希腊，以及公元前64年对美索不达米亚的征服。罗马的崛起是人们在几个世纪的时间里对哲学、数学和科学兴趣衰减的开始——甚至在那些讲希腊语的知识分子当中也是如此——因为实用主义至上的罗马人并不重视这些领域的研究。西塞罗的一句话很好地表达了罗马人对理论研究的轻蔑。“希腊人，”他说道，“给予了几何学家很高的荣誉；当然，数学取得了无与伦比的辉煌进步。但我们证明了这项技术在测量和计算用途上的局限。”在罗马共和国和其继任者罗马帝国统治的约1 000年里，罗马人的确建设了巨大的、让人印象深刻的工程，它们毫无疑问都要依靠测量和计算；但据我们所知，罗马没有产生一个有名望的数学家。这个事实让人震惊，它证明了文化对于数学和科学发展的巨大影响。

尽管罗马并没有为科学的发展提供一个有利的环境，但在公元476年西罗马帝国解体之后，情况变得更糟了。城市萎缩，封建体制兴起，基督教统治欧洲，乡村修道院和后期的教会学校成为人们精神生活的中心，这就意味着学术研究都集中在了宗教问题上，而对自然的探究则被认为是轻佻和没有价值的。最终，希腊人的知识遗产在西方世界里消失了。

对于科学来说幸运的是，阿拉伯世界里的穆斯林统治阶级却在希腊学术中发现了价值。这并不是说他们是为了追求知识而去追求知识——伊斯兰教意识形态对这一立场的支持并不比基督教更强烈。但富有的阿拉伯赞助人很乐意为把希腊科学翻译成阿拉伯语的活动提供资金，他们相信希腊科学是有用的。在几百年的时间里，中世纪的穆斯林科学家确实在实用光学、天文学、数学以及医学领域取得了巨大的进步，他们超越了欧洲人，彼时欧洲人的学术传统还处于休眠状态。但到了13和14世纪，欧洲人开始从他们漫长的昏睡中醒来，而伊斯兰世界的科学却走了下坡路。许多因素导致了这种情况的发生。第一个原因是，宗教保守势力对于实际应用——他们将其视为科学研究唯一可以接受的辩护词——的理解更加狭隘。并且，要想让科学繁荣发展，必须有一个能够提供私人或者政府赞助

的繁荣社会，因为大多数科学家在一个开放的市场上并没有资源去支持他们的工作。然而到了中世纪晚期，阿拉伯世界遭受到来自成吉思汗和十字军等外部势力的侵袭，内部的派系战争也让它变得四分五裂。曾经有可能投向艺术和科学的资源现在用在了战场以及生存斗争上。

另一个让科学研究停滞不前的原因是，它没有得到主导阿拉伯世界精神生活的学校的重视。这些伊斯兰学校是慈善信托机构，依靠宗教捐赠维持，而它们的发起人和捐助人则对科学持怀疑态度。结果，所有的教学活动都以宗教为中心，并排挤哲学和科学。与哲学和科学课程有关的教学不得不在校外进行。由于得不到学校的支持，也没有学校把他们聚拢在一起，科学家彼此隔离成为专业性的科学训练和研究的一个巨大障碍。

科学家无法在真空中生存。即便是最伟大的科学家，也需要和相同领域的其他科学家进行互动来获益。伊斯兰世界里科学家彼此接触的缺乏阻止了发展所需的观点间的相互滋养。同时，由于没有互相批评，想要控制缺乏实践经验依据的理论的传播变得非常困难，那些挑战传统智慧的科学家和哲学家也很难得到来自评论界的支持。

可与这种文化窒息现象相提并论的情况也发生在中国。中国是另一个伟大的文明，据信它出现现代科学的时间要早于欧洲。实际上，在中世纪鼎盛时期(1200—1500)中国的人口就已经超过1亿，大约是同时期欧洲人口的两倍。但和伊斯兰世界一样，中国的教育系统被证明远远不如欧洲，至少在科学方面如此。这种教育系统受到严苛的控制，主要集中在文学和道德修养方面的学习，几乎不重视科技创新和创造力。这种情况从明朝初年（1368年左右）一直到20世纪也没有实质性的改变。和阿拉伯世界一样，中国在科学（相对于技术）领域只取得了适度的发展，尽管这些进步发生在这样的教育体制下，但它们不是这种教育体制的产物。对于学术现状持批评态度，并试图通过发展必要的学术工具将其系统化来推动精神生活向前发展的思想家们把数据的使用当作是一种推动知识进步的途径，但他们受到了极大的束缚。在印度也是如此，基于种姓结构的印度社会坚持以牺牲学术进步的代价来换取社会的稳定。结果，尽管阿拉伯世界、中国和印度的确在其他领域产生了伟大的思想家，但他们并没有产生可以和创造现代科学的西方科学家相提并论的人物。

* * *

欧洲科学的复兴始于11世纪末期，那时本笃会的修士康斯坦丁诺斯·阿弗里卡纳斯开始把古希腊的医学论文从阿拉伯语翻译成拉丁语。就和阿拉伯世界的例子一样，研究希腊智慧的动机在于其实用性，这些早期的翻译

活动刺激了其他实用的医药和天文学著作的翻译。于是在1085年，当基督徒重新征服西班牙时，大批的阿拉伯语著作落在了基督徒的手里，在接下来的数十年里，大量的书籍被翻译出来，这也要部分感谢对此抱有兴趣的当地主教的慷慨捐资。

很难想象这些新出现的翻译工作者所受到的冲击。这就好像一个当代的考古学家意外地发现了一块刻有古巴比伦文字的石碑，经过翻译发现他们提出的先进科学理论远比我们的复杂。在接下来的几个世纪中，对于翻译活动的赞助成为文艺复兴时期社会和商业精英们地位的象征。结果，这些复原的知识传出了教堂，变成了某种通货，人们收集它们就像今天的富人收集艺术品一样——这些富人也的确会把他们的书籍和地图展示出来，就像今天的人展示雕塑或者画作一样。最终，知识在其实用价值之外又被赋予了新的价值，并引发了人们对于科学研究的理解。[注]终于，它开始慢慢侵占教堂对于真理的“所有权”。在与《圣经》和教会传统所宣扬的真理的竞争中，又一个竞争对手出现了：自然世界所显示的真理。

但仅仅翻译和阅读古希腊的著作并不能产生一场“科学革命”，一种新机构——大学——的发展才真正地改变了欧洲。[注]今天我们知道，它将成为科学发展的驱动者，它将使欧洲在几个世纪里都处于科学发展的前沿，并在科学领域产生了这个世界前所未见的巨大进步。

不断增加的财富和大量的为接受过良好教育的人提供的工作机会点燃了教育领域的革命之火。[注]像博洛尼亚、巴黎、帕多瓦以及牛津这样的城市都获得了学习中心的美誉，大批的学生和教师涌向了这些城市。教师们要么独自开办教学机构，要么在现有学校的支持下开办教学机构。最终，他们参照贸易行会的形式组织成立了志愿协会。但尽管这些协会自称是“大学”，它们最初只不过是一些联盟而已，没有自己的地产，也没有固定的地址。我们今天意义上的大学出现在几十年之后—1088年在博洛尼亚，1200年左右在巴黎，1222年左右在帕多瓦，1250年在牛津。在这些地方，自然科学而不是宗教成为教学的重点，学者们聚集在一起，互相交流，互相促进。[注]

这并不是说中世纪的欧洲大学就是伊甸园。比如，最晚在1495年，德国权威部门认为有必要出台一项法令，明确禁止任何与大学有关的人员向大学新生泼洒尿液。这项法令现在已不复存在，不过我还是要求我的学生必须遵守。至于教授，他们没有专门的教室，因而经常被迫在公寓、教堂，甚至妓院里讲课。更糟糕的是，教授的薪水是直接由学生支付的，学生可以雇用或者解雇教授。在博洛尼亚大学，今天已成为常态的事情在当时却有着另一个奇怪的扭曲：教授如果无故缺席或者迟到，或者没有回答学生提

出的难题，学生是要罚老师的钱的。如果学生觉得一堂课上得很乏味，或者老师讲得过慢，或者讲得过快，他们就会嘲讽老师并吵闹不休。莱比锡大学学生的这种攻击倾向如此难以控制，以至于校方不得不通过一项规定，禁止向教授投掷石块。

尽管有这些现实的困难，欧洲的大学还是成为科学发展的主要因素，一部分原因是它们把人聚集起来去分享和辩论观点。科学家可以忍受学生的嘲讽和偶尔从天而降的尿液带来的干扰，但他们却无法忍受没有持续不断的学术讨论会——这简直难以想象。今天，大部分的科技进步都发端于大学研究，因为在这里可以得到充裕的研究资金。大学，就像它在历史中一样，一直都是一个重要的思想汇聚地。

使我们摆脱亚里士多德学说，改变我们自然观甚至社会观，为我们之所以会成为今天的我们打好地基的科学革命通常被认为起始于哥白尼的日心说，并在牛顿物理学到达顶峰。但这种说法过于简单化——尽管我使用“科学革命”这个表达方法是为了方便省事，这其中涉及的科学家有着千差万别的目标和信仰，而不是一群人有意识地联合起来去努力创造一个新的思想体系。更重要的是，“科学革命”所指的变化是循序渐进的：1550—1700年间的伟大学者们建造了宏伟的知识教堂，牛顿成为这座教堂的顶峰。但这批学者可不是凭空冒出来的，是早期欧洲大学里的中世纪思想家们付出了辛勤的劳动为他们挖好了地基。

打地基工作中的绝大部分内容是在1325—1359年间由牛津大学墨顿学院里的一群数学家完成的。大多数人都知道——至少有所耳闻——是古希腊人创造了科学这个概念，而现代科学成形的时间是伽利略生活的时代。可中世纪的科学得不到人们的尊重。这非常令人遗憾，因为中世纪的学者们取得了惊人的进步，尽管在他们生活的那个年代，人们评判事实陈述的标准不是实验证据，而是习惯性地以它们是否能很好地匹配他们已有的基于宗教的信仰体系——正如我们今天所知，这种文化并不适宜科学的发展。

哲学家约翰·瑟尔曾经写过一个故事，展示了我们和中世纪的思想家们看待世界的根本不同。他讲述了威尼斯一座叫作the Madonna del Oro (果园圣母）的哥特式教堂的故事。最初的计划是把这座教堂命名为圣克里斯托弗洛教堂，但在建造过程中一座圣母的雕像神秘地出现在了附近的一个果园里。名字很快就改了，因为人们相信这座雕像是从天上掉下来的，这被认为是一个奇迹。人们在当时没有对这个超自然的解释产生更多的怀疑，但现在我们却对它充满了质疑，这一事件或许有一个更为世俗的解释。“现在即使这座雕像是在梵蒂冈的花园里发现的，”瑟尔写道，“教会权威也不会宣称它是从天而降的。”注



牛津大学墨顿学院图书馆

有一次我在一个聚会上提到了中世纪科学家所取得的成就。我说鉴于他们的文化和所要面对的困难，我对他们的工作印象相当深刻。我们今天的科学家总在抱怨申请项目拨款时“浪费”了太多时间，但至少我们还有带暖气的办公室，当我们城镇的农业生产下滑时，我们不用捕杀猫来做晚餐，更别提还要躲避黑死病了——它在1347年出现，杀死了一半人口。注

我参加的那个聚会学术氛围浓郁，所以我讲话的对象并没有像大多数人那样对我的忧思做出回应——直到她突然意识到她需要再来一杯霞多丽酒时。她竟充满怀疑地说：“中世纪科学家？得了吧。他们没用麻醉剂就给病人做手术。他们用生菜汁、毒堇汁和阉割过的公猪的胆汁来制作治病药水。即使最伟大的托马斯·阿奎纳不也相信巫术吗？”她把我问住了。我真不知道。后来我去查阅资料，发现她是对的。然而，抛开她对于中世纪医学成就某些方面百科全书式的知识，她并没有听说过他们在物理学领域里那些恒久的观点，在我看来这些观点是最不可思议的，尤其和中世纪其他领域的知识状态相比。所以，尽管我必须承认，假如某个中世纪的医生乘坐时间机器来到现代社会，没有人会愿意让他治病，但说到那些中世纪的学者们在物理学方面所取得的成就，我依然坚持我的立场。

这些被人遗忘的物理学英雄都做了些什么呢？首先，在亚里士多德曾经思考过的所有类型的变化中，他们把位置的变化——也就是运动——作为最根本的变化单独挑选出来。这是一种有先见之明的深刻的观察，因为我们所观察到的大多数类型的变化都为相关物质所特有——肉的腐烂、水的蒸发、树叶从树枝上掉落。它们对于一个寻找普遍规律的科学家来说意义不大。从另一方面讲，运动定律是一种适用于所有物质的根本定律。但运动定律之所以特别还有另一个原因：在亚微观层面，它们是我们生活中经历的所有宏观变化的原因。这是因为，如我们所知——亦如某些古希腊原子论者推测的那样——通过分析构成物质的基础材料原子和分子的运动定律，我们最终可以理解日常生活中所经历的许多类型的变化。

尽管墨顿的学者们没有发现那些运动的全面定律，但他们确实感知到了这些定律的存在，并且为几个世纪之后的人发现它们搭建好了平台。特别是，他们所创造的运动的基本理论与其他类型变化的科学无关——与目的的概念无关。

* * *

墨顿的学者们所承担的任务并不轻松，对运动进行哪怕是最简单的分析所要用到的数学知识在当时至多也是原始的。而他们还面临着另一个严重的困难，战胜这个困难比起使用当时有限的数学知识取得成功是一个更大的胜利，因为它并非一个技术障碍，而是人们思考世界方式的局限性：和亚

里士多德一样，墨顿的学者们受到一种世界观的束缚，在这种世界观里，时间发挥的作用是性质上的，是主观意识上的。

生活在发达世界文化之中的我们感知时间流逝的方式对于早期的人们来说是无法理解的。在人类的大部分历史中，时间是一个有着高度伸缩性的框架，它以一种完全隐秘的方式延展和收缩。学会把时间看作是固有主观性以外的东西，这一步很难，但却影响深远，它对于科学进步的意义就和语言的发展或者人类意识到世界能够通过推理被认知的意义一样重大。

比如，找出事件发生时间的规律——想象一块石头从4.88米高的地方掉下来总是只需要一秒——在墨顿学者们的时代将会成为一个革命性的概念。首先，在当时没有人知道该如何精确测量时间，分和秒的概念更是闻所未闻。[注]实际上，直到14世纪30年代，第一个以相等长度记录小时的钟表才被发明出来。在这之前，白天无论有多长都被划分为12个相同的间隔，这就意味着6月的“一个小时”或许是12月的“一个小时”的两倍还要多（比如在伦敦，以今天的分钟来计算它的变化范围是38~82分钟）。而这并没有给任何人造成不便，这也反映出一个事实，一个模糊的和定性的时间概念对人们来说就已经够用了。考虑到这些，速度——单位时间内运动的距离——在当时一定会是一个非常怪异的概念。

即使面对如此多的困难，墨顿学者们也神奇地为研究运动创造了一个概念性的基础。他们甚至还提出了有史以来第一条量化的运动定律——“墨顿法则”：物体从静止状态开始持续加速所经过的距离，和以加速物体最高速度一半的速度运动的物体在相同时间内经过的距离相同。[注]

必须承认这条定律很拗口。尽管我很久之前就熟悉它了，但现在再看时，我还要再读两遍才能搞清楚它要表达的意思。但这条定律语法结构的晦涩难懂也不是没有用处，它让我们看到了一旦科学家学会使用——以及发明，如果有必要的话——恰当的数学工具，科学会变得有多容易。

使用今天的数学语言，“物体从静止状态开始持续加速所经过的距离”可以写成$\frac{1}{2}a \times t^2$。第二个量，“以加速物体最高速度一半的速度运动的物体在相同时间内经过的距离”可以简单地写成$\frac{1}{2}(a \times t) \times t$。所以，墨顿法则的表述翻译成数学公式就变成了：$\frac{1}{2}a \times t^2 = \frac{1}{2}(a \times t) \times t$。这样不但更紧凑，也让陈述的事实一目了然，至少对学过初级代数的人来说是如此。

如果这些日子早已离你远去，只需要问一个六年级的学生——他就懂。实际上，今天一个普通的六年级学生懂得的数学知识要比14世纪最前沿的科学家还要多。28世纪的儿童和21世纪的科学家是否会说出相似的表述，这会是一个有趣的问题。当然，人类的数学技能几个世纪以来一直都在稳步

发展。

墨顿法则所表达的意思可以用一种日常生活的例子来表示：如果你把车从零稳步加速至每小时100英里，你所开出的距离会和你以每小时50英里的速度在相同时间内开出的距离一样。这听起来像是我母亲唠叨我开车速度太快，但尽管墨顿法则在今天已经成为常识，当时墨顿的学者们却没有办法证明它。尽管如此，这条定律还是在知识界引起了相当大的轰动，它很快就传到了法国、意大利和欧洲的其他地区。[注]证明方法不久之后就出现了，它是由来自英吉利海峡对岸巴黎大学的法国学者们发现的。它的作者名叫尼克尔·奥雷姆（1320—1382），既是一位哲学家又是一位神学家，最后还升任了利雪地区的主教。为了证明默顿法则，奥雷姆不得不做一件古往今来所有物理学家一直在重复的事情：发明新的数学工具。

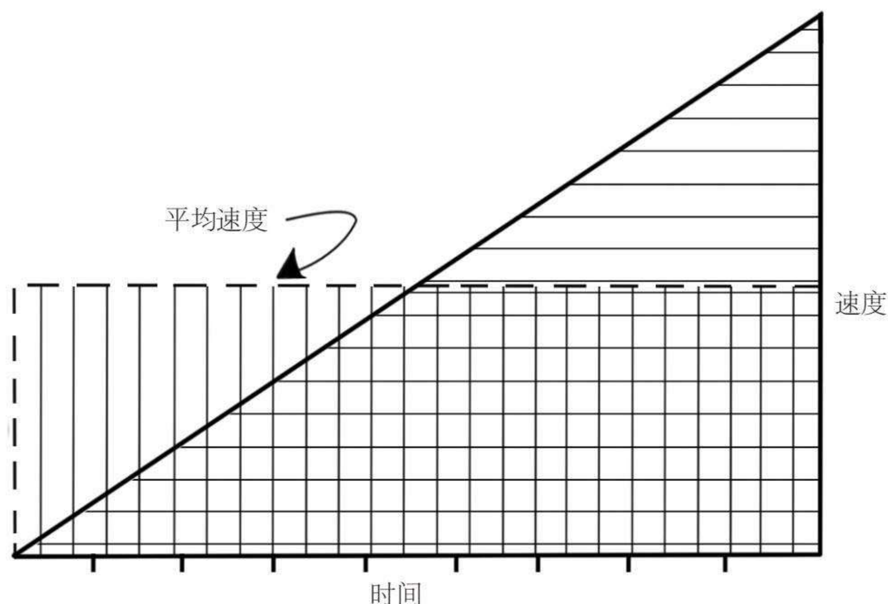
如果说数学是物理学的语言，那缺乏恰当的数学工具将会使一个物理学家无法开口讲话，甚至无法推导一个命题。为了用公式表达广义相对论，爱因斯坦使用了复杂和不常见的数学公式，这或许也是为什么他曾经建议一个年轻的女学生说："别担心你学不好数学：我可以向你保证我面临的困难更大。"[注]或者像伽利略说的那样："（大自然）这本书是无法读懂的，除非你首先学会理解和读懂写成它的语言和字母，它由数学这种语言写成，它的文字是三角形、圆形和其他几何图形，没有它们，人类就无法读懂其中哪怕一个单词；没有它们，人类只能在黑暗的迷宫里徘徊。"[注]

为了照亮这个黑暗的迷宫，奥雷姆发明了一种图表去表述墨顿法则中的物理现象。尽管他不是以我们现在的方式理解他的图表，但有人认为它是第一个物理运动的几何表述方式——以及第一个曲线图。

我一直感觉很奇怪，尽管没有多少人使用微积分，但很多人都知道它的发明者是谁，而人人都在用的曲线图的发明者却没有几个人知道。我猜这可能是因为在今天曲线图的概念看起来平淡无奇的缘故吧。但在中世纪，使用线条来代表数量，使用表格来表示空间的想法却是一种卓越的革命性原创，甚至有一点儿古怪。

为了让大家对使人们思维方式发生哪怕是最简单改变的困难程度有一个概念，我想讲讲另一个古怪发明的故事，一个完全和数学无关的故事：便利贴，这种小纸片的一边带有可重复使用的条状黏合剂，可以很容易地把它们贴在其他物体上。便利贴是在1974年由3M公司的化学工程师阿拉伯特·弗里发明的。设想一下，假如当时它们没有被发明出来，今天我带着这个点子和一个样品走到作为投资者的你的面前。你当然会把它视为一座金矿，并为了得到这样的投资机会而高兴得跳起来，对吗？

大多数人很有可能不会，这看起来或许很奇怪，但发生的事实证明了这一点。当弗里把他的点子展示给3M公司市场部的人看时——这是一家以黏合剂和创新而闻名的公司——他们并没有表现出多大的热情，并认为这种东西会很难销售，而且同它原本计划要取而代之的便笺相比，它还需要溢价。为什么他们没有冲过去拥抱弗里提供给他们的发财机会呢？注因为在“前便利贴”时代，把带有黏性胶带的小纸片贴在其他东西上这种概念超出了人们的想象。所以阿尔伯特·弗里所面临的挑战不仅仅是发明出产品，更是改变人们的思维定式。如果把便利贴的故事看作一场登山战役，那你就能够想象出当你试图在一些至关重要的领域做同样的事情时，你面对的困难究竟有多大了。



展示墨顿法则的图表

幸运的是，奥雷姆的证明并不需要便利贴。下面是我们对他的论证的分析。首先，把横轴设为时间，纵轴设为速度。现在设想一下你考虑的物体从零时开始以恒定的速度向前运动了一段时间。这段运动以一条水平线表示。把这条线下面的区域涂上阴影，你将得到一个长方形。另一方面，持续的加速度用一条向上倾斜的线条表示，因为时间在增加，所以速度也在增加。如果把这条线下方的区域涂上阴影，你会得到一个三角形。

这些曲线下方的区域——阴影区——代表速度乘以时间，也就是物体运动的距离。如果你会使用这种分析方法，并知道如何计算长方形和三角形的

面积，你就能够很容易地证明墨顿法则的正确性。

奥雷姆没有获得应得的荣誉，其中一个原因是他的大多数作品并没有发表。此外，尽管我已经解释了我们将如何使用今天的方法分析他的工作，但他实际使用的概念性框架并不如我描述的那样详细和量化，并且和我们今天所理解的数学和物理变量之间的关系完全不同。新的理解起源于一系列涉及空间、时间、速度和加速度概念的创新，而它们是伟大的伽利略（1564—1642）最重要的贡献之一。

* * *

尽管13和14世纪在大学里工作的中世纪学者们在进一步推动理性和经验主义科学方法的传统向前发展方面取得了进步，但欧洲科学的大爆发并没有马上紧随其后，反而是由发明家和工程师改变了中世纪晚期欧洲的社会和文化。在这一时期同时出现了最早的文艺复兴迹象。文艺复兴大概从14世纪一直持续到17世纪。

文艺复兴早期的革新家们创造了第一个不是完全依靠人力驱动的伟大文明。水车、风车、新型的机械连接，以及其他装置或者被发明，或者被改进，并被应用到乡村生活当中。它们为锯木厂、面粉厂，以及各式各样灵巧的机器提供动力。他们的技术创新和理论科学没有多大的关系。他们创造的新财富促进了学习和文化水平的提升，他们推广了理解自然可以帮助人类改善生存条件的认知，这些都为后来的科学进步打下了基础。

文艺复兴早期的企业家精神也带来了一项对后期的科学以及整个社会产生直接和重大影响的新技术发明：印刷机。尽管中国人在几个世纪之前——约于1040年——就已经发明了活字印刷术，但它相对来说不太实用，由于汉字采用象形书写方式，需要数以千计的不同汉字。然而在欧洲，1450年左右出现的机械化活字印刷机改变了一切。比如在1438年，里波利出版社为一本书排版印刷收取的费用是一名抄写员抄写这本书的费用的3倍。但里波利使用印刷机可以印刷1 000本甚至更多本书，而一名抄写员只能抄写出一本。结果，仅仅在几十年的时间里，印刷出来的书比欧洲抄写员在之前所有世纪里抄出的书的总和还要多。

印刷机巩固了新兴的中产阶级的地位，革新了整个欧洲思想和信息流通的方式。知识和信息突然在更大范围的市民群体中出现。短短几年时间，第一批数学教科书就被印刷出来，到了1600年，差不多有10 000种书出版。此外，一次恢复古代典籍的新浪潮也开始涌现。同样重要的是，那些有新观念的人突然就拥有了展示他们观点的更大的平台，而那些依靠查阅和进一步发展他人观点而茁壮成长的人，比如科学家，也获得了更多参考他们

同伴著作的机会。

欧洲社会发生的这些变化使它的社会结构不再像伊斯兰世界、中国或者印度那样固化和统一。上述社会已经变得僵化，并且只关注狭隘的社会正统。同时，欧洲的精英们发现自己卷入了城市和乡村、教堂和国家、教皇和皇帝，以及世俗知识分子的要求和不断增长的消费主义之间的利益瓜葛中。因此，随着欧洲社会的发展，艺术和科学有了更多的变革自由，也的确做出了改变，让人们对自然世界产生了新的、更实际的兴趣。注

在艺术和科学领域，对自然事实的重新重视成为文艺复兴的灵魂。文艺复兴（Renaissance）这个词在法语中意为“重生”，它也的确代表了人类和文化的一个新开端：在黑死病杀死了欧洲三分之一到一半的人口之后，文艺复兴从意大利开始，然后慢慢扩散，直到16世纪到达北欧。

在艺术领域，文艺复兴时期的雕塑家学习解剖学，画家学习几何学，他们都致力于创造出基于敏锐观察的更忠实于现实的艺术表现形式。人的形象以解剖学般的精确度被描绘在自然环境之中，光线和阴影以及直线透视法的运用制造出了三维效果。画家创作的人物也显露出真实的情绪，他们的面孔不再像中世纪早期的艺术作品那样平淡的、脱离现实。同时，文艺复兴时期的音乐家研究声学，而建筑学家则仔细观察建筑物的和谐比例。对自然哲学——我们今天称之为科学——有兴趣的学者们开始重视数据收集并据此得出结论，而不再像过去那样使用纯粹的、带有宗教世界观偏见的逻辑分析。

莱昂纳多·达·芬奇（1452—1519）或许最能代表那一时期科学和人类学理念，这种理念没有将科学与艺术截然分开。他不仅是科学家、工程师、发明家，同时还是画家、雕刻家、建筑师和音乐家。在追求这些领域的过程中，达·芬奇试图通过细致的观察来理解人与自然世界。他在研究科学和工程学时所做的笔记超过了1万页，而作为画家，他并不仅仅满足于观察静态的物体，他还研究解剖学并解剖过人体。在先前的学者视为理所当然的一般性质特征的地方，达·芬奇和他同时代的人却投入了大量的精力去感知自然设计的精妙之处——并不再重视亚里士多德和教会的权威。

正是在这种学术氛围中，在文艺复兴行将结束时，伽利略出世了。他于1564年出生在比萨，只比另一位巨人——威廉·莎士比亚——的诞生早了两个月。伽利略是温琴佐·伽利雷七个孩子中的老大。伽利雷是一位知名的鲁特琴演奏家和音乐理论家。

温琴佐来自一个贵族家庭——并不是我们今天以为的那种贵族家庭，那些热衷于猎狐、每天喝下午茶的人，而是那种使用家族姓氏去得到工作的

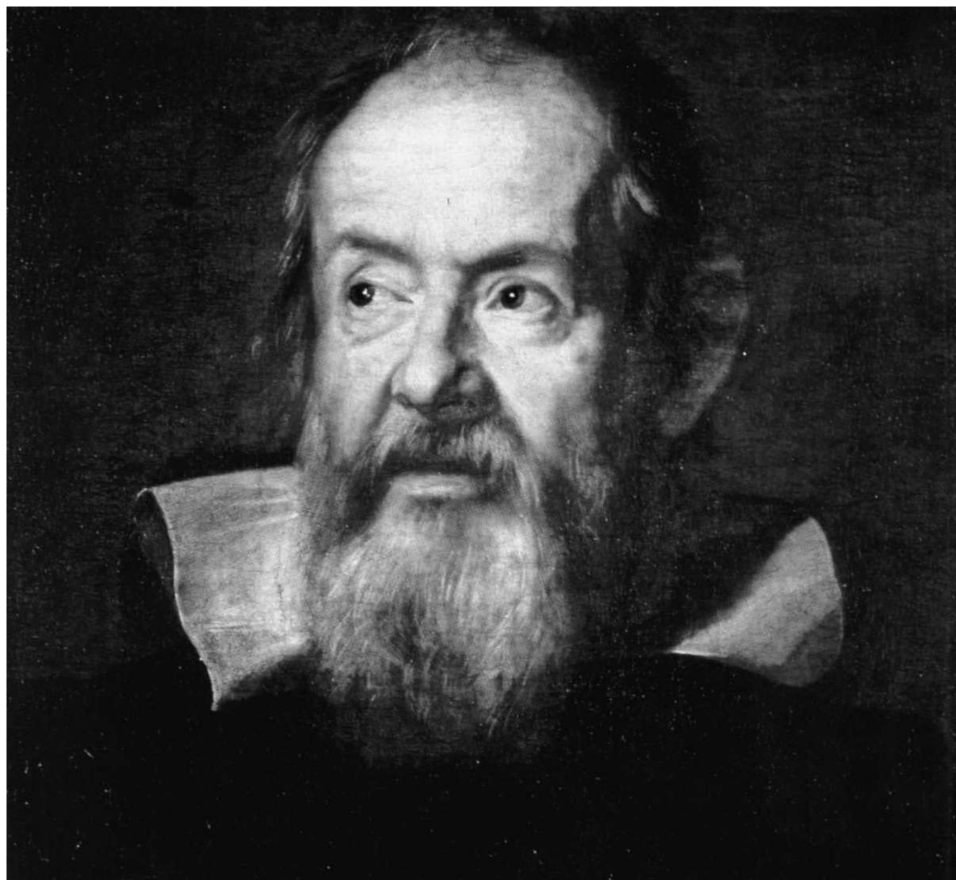
人。[注]温琴佐或许会希望他属于第一种贵族，因为他热爱鲁特琴，只要一有机会就会弹奏——在城镇里走路时、骑马时、站在窗户边时、躺在床上时——这是一份没有多少现金收入的工作。

为了让儿子日后过上富裕的生活，温琴佐把年轻的伽利略送到比萨大学学习医学。但伽利略更感兴趣的是数学，而非医学，他开始自学欧几里得和阿基米德的著作，甚至亚里士多德的著作。许多年后他告诉朋友，他宁愿放弃大学培训而去学习绘画。然而，温琴佐逼迫他选择了一个更加实用的人生追求，理由是由来已久的父亲式理论：为了避免以后过一种晚餐是大麻籽汤和牛内脏的生活，做出一些妥协也是值得的。

当温琴佐听说伽利略转向了数学而不是医学时，那看起来一定像是伽利略选择了一个靠父亲的遗产过活的专业，以后会要多拮据有多拮据。但这根本不要紧，伽利略最后并没有修完医学、数学或者任何专业的学位。他退学了，开始了长期缺钱和经常欠债的生命旅程。

退学之后，伽利略最初靠给别人补习数学来养活自己。后来他听说在博洛尼亚大学有一个初级职位空缺。尽管他只有23岁，他还是申请了，通过一番新奇的四舍五入他报告说自己的年龄在“26岁左右”。校方很明显需要一个年龄比“左右”再大一点儿的人，所以最终聘请了一个32岁，并真正修完学位的人。尽管如此，即使在几个世纪之后，如果哪个人在申请一个学术职位时被拒绝，只要想到他和伽利略有着共同的经历，就足以得到安慰了。

两年后，伽利略的确成为比萨大学的一名教授。在那里，他讲授他挚爱的欧几里得，也讲授一门占星学课程，目的是帮助医学专业的学生决定何时给病人放血治病。是的，这个人不但为推动科学革命做出了许多工作，他还给有抱负的医生提供宝瓶座的位置对于水蛭放置有何意义的建议。今天的占星学已经没有可信度了，但在我们懂得自然法则之前的时代里，天体影响着地球上的人类生命的观念是合乎情理的。毕竟，太阳和月亮的确影响着我们，人们一直以来都认为它们和潮汐的涨落有着某种神秘的联系。



伽利略·伽利雷，由佛兰德艺术家贾斯特斯·苏斯特曼斯绘于1636年

伽利略做占星预测既出于个人兴趣，也为了获得收益，他的学生想要阅读他的成果需要支付给他12斯库迭。一年做5次，他就可以让他每年60斯库迭的教学工资增加一倍，但这笔钱也刚刚够他维持生计而已。他也喜欢赌博，在有人懂得数学概率之前的时代，伽利略不仅是一个计算概率的先驱，同样也是一个优秀的赌徒。

既高且壮，有着白皙皮肤和泛红头发的伽利略在二十七八岁时很受大众欢迎。但他在比萨大学的任期并没有持续太久。尽管他对于权威一般还是尊重的，但他喜欢嘲讽别人，对他的学术对手和无意间惹恼他的管理人员也很尖刻。在比萨大学惹怒他的摩擦是这样的，当时学校固执地要求教授在城里或者讲课时必须穿上他们的学术长袍。

喜欢写诗的伽利略写了一首诗来回敬学校权威。诗的主题是衣服——伽利

略站出来反对它。袍子，他辩称，是欺骗的源泉。比如，他在诗里写道，如果没有衣服，新娘就可以看到她未来的配偶，并“观察他是否太小，或者患有法国病（即梅毒）以及因此了解情况，接受或者离开他都随她意”。注这样的诗可不讨巴黎人喜欢，在比萨大学也不受欢迎，于是年轻的伽利略再一次来到了求职市场。

就像事后证明的那样，这变成了一件好事。伽利略很快就收到了威尼斯附近的帕多瓦大学的任命，起薪是每年180斯库迭，是他过去工资的3倍——他后来把他在那里的逗留称为生命中最美好的18年。

在伽利略进入帕多瓦大学的时候，他对亚里士多德的物理学已经不再抱有幻想。注对于亚里士多德来说，科学是由观察和推论构成的。而在伽利略看来，这个说法遗漏了关键的一步：实验的作用。在伽利略手中，实验物理学及其理论共同发展。几个世纪以来学者们一直在开展实验研究，但他们做这些实验的目的只是为了验证他们业已接受的观点是正确的。从另一方面讲，今天的科学家做实验是为了严格地验证观点正确与否。伽利略的实验处于二者之间。它们是探索——比验证观点是正确的更好，但不如严格的验证。

伽利略的实验方法有两点尤其重要。第一，当得到意想不到的实验结果时，他并不拒绝——他质疑自己的思路。注第二，他的实验是量化的，这在当时是一个革命性的观念。

伽利略的实验和今天你有可能在高中科学课上看到的实验类似，尽管他的实验室和你在高中见到的不太一样，他的实验室没有电、气、水以及新奇的设备——我所说的“新奇的设备”指的是，比如，钟表。结果，伽利略不得不利用文艺复兴时期类似强力胶带和皮搋子的东西制作复杂的装置。比如，为了制作一个计时器，伽利略在一个大水桶的底部钻一个小孔。当他需要为某件事情测定时间时，他给这个桶注满水，收集漏出来的水，然后去称它有多重——水的重量和事情发生的时间是成比例的。

伽利略使用这个“水钟”攻击关于自由落体的争论——物体落向地面的过程。对于亚里士多德来说，自由落体是一种自然运动，受到某种经验法则的控制，比如：“如果一定重量的物体在给定时间内下落一段距离，两倍于此重量的物体下落相同距离只需要一半时间。”换句话说，物体以恒定速度降落，速度与它们的重量成正比。

如果你思考这个问题，这是常识：石块降落的速度要比树叶快。所以，考虑到当时并没有测量或者记录仪器，人们对于加速度的概念也知之甚少，亚里士多德对于自由落体的描述看上去一定很合理。但如果你再想一下，

它同样违背了常识。正如耶稣会教士天文学家乔瓦尼·里乔利指出的那样，神鹰把一只乌龟丢在埃斯库罗斯的头上从而杀死了他，即使是神鹰都本能地知道物体从高处掉在你头上会对你造成伤害，越高伤害越大——还有，这也表明物体在降落过程中它的速度越来越快。这些考虑的结果使人们对于这个问题的看法一直在这两者之间来回摆动，几个世纪以来各方学者都对亚里士多德的理论表示过怀疑。

伽利略对于这些批评非常熟悉，他想亲自研究这个问题。然而，他知道自己的水钟并不够精确，无法帮助他展开坠落物体实验，所以他必须寻找到一个运动速度更慢，但遵循同样物理原则的降落过程。他选择测量高度抛光的铜质小球从以不同角度倾斜的光滑平面滑落时所需要的时间。

通过测量从斜面上滚落的小球来研究自由落体就像根据在网上看到的样子来买一件外套——那件衣服穿在你身上的样子看起来总是会和穿在光鲜亮丽的模特身上的样子有所不同。抛开危险性不说，这种推理方式正是现代物理学家思考方式的核心。设计出一个好实验的技巧在很大程度上取决于你知道这个问题的哪些方面是重要的，你要保留，哪些方面你可以安全地忽略——以及如何解释你的实验结果。

在自由落体这个例子中，伽利略的天才体现在他设计滚球实验时脑子里有两个标准。第一，他必须让物体运动足够慢，这样他才可能测量；第二，同样重要的是，他必须设法把空气阻力和摩擦力的影响降至最低。尽管摩擦力和空气阻力是我们日常生活体验的一部分，他还是感觉到它们会掩盖统治自然的基本定律的朴素性。在真实世界里，石块会比羽毛降落得更快，但伽利略怀疑基本定律决定了在真空中它们会以相同的速率降落。我们必须“摆脱这些困难”，他写道，“在经验带给我们的局限性下，制造没有阻力的条件发现并论证这个定律，……使用它们并把它们应用（到现实世界中）……”

伽利略实验中的小球在倾斜度较小的斜面上滚动的速度相当缓慢，数据也相对比较容易测量。他注意到在这些小角度实验中，小球滚动的距离总是与时间间隔的平方成正比。使用数学方法我们可知，这意味着小球以一个恒定的速率获得速度——也就是说，小球在经历持续的加速。更重要的是，伽利略注意到小球滚落的速率并不是由它的重量决定的。

更让人惊讶的是，当斜面以更倾斜的角度摆放时，这依然适用；无论倾斜的角度有多大，小球滚动的距离都和它的重量无关，而与它滚动所需时间的平方成正比。但如果在倾斜角度是40度，50度，60度，甚至70度或者80度时它都适用的话，为什么90度不可以呢？于是伽利略开始展开非常具有现代意味的推理：他说他观察小球从平面上滚落得出的结论一定也适用

于自由落体，人们可以把它想象成一个类似的“极限情况”，在这种情况下平面的倾斜角度是90度。换句话说，他假设如果他把平面一直倾斜——直到它呈垂直状态，小球实际上是降落，而不是滚落——它依然还会以恒定的速率获得速度，这也就意味着他从倾斜的平面观察到的定律同样适用于自由落体。

通过这种方式，伽利略用自己的定律取代了亚里士多德的自由落体定律。亚里士多德曾经说过物体降落的速度和它们的重量成正比，但伽利略通过假设出一个基本定律自己会显现未来的理想化世界，从而得出一个不同的结论：在没有媒介——例如空气——提供阻力的情况下，所有物体以相同的恒定加速度降落。

* * *

如果伽利略喜欢数学的话，那他应该对抽象概念也有兴趣。他的抽象能力发达，他有时候喜欢完全依靠想象去观察事件发生的场景。非科学家将其称为幻想；科学家则把它们叫作思想实验，至少当它们和物理学有关时是这样。完全依靠想象在大脑中展开实验的好处是你免去了布置实验器材的麻烦，但坏处是你无法检验某些观点的逻辑结果。因此，伽利略除了使用斜面实验这种实践方法颠覆了亚里士多德的理论，他也同样使用思想实验加入到针对另一个亚里士多德物理学理论的批判中来，这个批判和抛射物的运动有关。

当一个抛射物受到初始作用力被发射后，是什么在推动它继续前进？亚里士多德猜测说或许是空气颗粒跟随在抛射物之后继续推动它，但就像我们知道的那样，他自己也对这个解释充满怀疑。

伽利略通过想象出一艘在大海中航行的船来抨击这个观点。在这艘船上，男人们在客舱里玩传接球游戏，蝴蝶扇动着翅膀，鱼儿在桌子上的一个碗里游动，水从一个瓶子里滴下来。他“注意到”无论这艘船是在稳定地前行还是处于静止状态，所有这些活动进行的方式都一样。他推论说这是因为船上的一切都随着船一起运动，船的运动一定“感染了”这些物体，所以这艘船一旦开始运动，它的运动就变成了船上所有物体的某种基准。抛射物的运动有没有可能也是因为抛射物以同样的方式受到“感染”呢？那会不会是炮弹保持运动的原因呢？

伽利略的沉思引导着他得出了他最深奥的结论，这又是一次同亚里士多德物理学理论的彻底决裂。否定亚里士多德所说的抛射物的运动需要一个原因——作用力——的论断，伽利略宣称所有匀速运动的物体都趋向于保持这种运动状态，就像静止的物体趋向于保持静止一样。

伽利略所说的“匀速运动”指的是“以直线方式”和“恒定速度”运动。那么“静止”状态就是一种速度恰好为零的匀速运动的范例。伽利略的观察结果后来被称为惯性定律。之后牛顿经过改造把它变成了自己的第一运动定律。在陈述完这个定律后，牛顿在随后的几页纸上补写说它是由伽利略发现的——这是一个牛顿把功劳算在别人头上的罕见例子。注

惯性定律解释了困扰亚里士多德主义者们的抛射物问题。按照伽利略的说法，抛射物一旦被发射，它将保持那种运动状态，除非某种作用力让它停下来。和伽利略的自由落体定律一样，这条定律也是同亚里士多德的彻底决裂：伽利略断言抛射物并不需要持续的作用力来保持运动；而在亚里士多德的物理学理论中，没有作用力或者“理由”的持续运动是难以置信的。

我把伽利略的故事讲给我父亲听，他喜欢把任何我提到的重要人物拿来和某些犹太历史人物做比较，根据我告诉他的内容，他把伽利略称为科学界的摩西。他这么说是因为伽利略带领着科学走出了亚里士多德主义的荒漠，走向了一个应许之地。这个比较特别恰当，因为和摩西一样，伽利略自己并没有来到应许之地：他未能将重力视为一种作用力，或者去破译它的数学形式——那需要等待牛顿的出现——并且他依然固守亚里士多德的某些主张。比如，伽利略相信一种既非匀速运动，又不需要外力的“自然运动”：以地球为中心的圆周运动。很明显伽利略相信这种类型的自然运动允许物体在地球旋转时和它保持一致。

亚里士多德思想体系的最后残余只有等到一个真正的运动科学出现时才会被抛弃。因为这些原因，一位历史学家把伽利略的自然概念描绘成“一个由不相容元素构成的不合情理的混合物，产生于互相矛盾的世界观，在这之间他泰然自若”。注

* * *

伽利略对于物理学的贡献当然是革命性的。但时至今日，他最出名的还是他与天主教会之间的纷争。矛盾源自他的主张。与亚里士多德（以及托勒密）的观点相反，伽利略认为地球并不是宇宙的中心，而只是一颗普通的行星，就和其他行星一样围绕着太阳旋转。这种以太阳为宇宙中心的观点早在公元前3世纪就由阿利斯塔克提出，但它的现代版本要归功于哥白尼（1473—1543）。注

哥白尼是一个充满矛盾的改革者，他的目标并不是挑战他那个时代的宇宙哲学，他只是想修正古希腊天文学：让他烦恼的是，为了使地球中心模型解释得通，人们不得不引入大量复杂的、专门的几何结构。而另一方面，他的模型则更精致更简单，甚至带有艺术美感。本着文艺复兴的时代精

神，他欣赏的不只是它与科学的关系，还有它的美学形式。“相较于假设出大量必须以地球为中心的天体从而将问题复杂化来说，”他写道，“我认为人们更容易相信太阳是宇宙的中心。”注

哥白尼于1514年第一次私下记述了他的模型，接着花费数十年进行天文观测以支持他的观点。但和几个世纪之后的达尔文一样，由于担心遭到大众以及教会的嘲笑，他只是谨慎地在他最信任的朋友间传播他的观点。然而如果哥白尼感觉到了危险，他也同样清楚如果使用恰当的政治手段，教会的反应将会是温和的。当哥白尼最终发表他的著作时，他把这本书献给教皇，并附带了长长的解释，说明为什么他的观点不是异端邪说。

最终，这个想法并没有什么实际意义，因为哥白尼直到1543年才出版他的书，那时他已经在病床上奄奄一息了——有人说他直到死的那一天才看到自己著作的印刷品。讽刺的是，即使他的书出版了，也没有即刻产生影响，直到后来被像伽利略这样的科学家采用并开始传播他的观点。

尽管地球并非宇宙中心这个观点不是伽利略发明的，但他贡献了同样重要的东西——他使用望远镜（他临时所做，基于一个不久前刚刚被发明出来的非常初级的版本）为这个观点找到了让人惊讶却又信服的证据。

它始于一次偶然事件。在1597年，当时伽利略还在帕多瓦大学撰写和讲授关于托勒密体系的内容，并没有显露出他对其正确性产生怀疑的迹象。注与此同时，大约在同一时期，发生在荷兰的一件事情提醒着我们科学出现在正确的地点（欧洲）以及正确的时间（在这个例子中，仅仅在哥白尼逝世后几十年）的重要性。这件事情将最终改变伽利略的思想。当时有两个小孩在一个默默无闻的名叫汉斯·利伯希的眼镜制作商的作坊里玩耍，他们把两个镜片叠在一起，透过它们去看远处镇上教堂屋顶的风向标。风向标被放大了。根据伽利略日后对于此事的记载，利伯希查看这些镜片，“一个是凸面的，另一个是凹面的……并且记下了这个意外的结果；并因此（发明了）这个仪器”。注他制造了一个小型望远镜。

我们倾向于把科学的发展看成是一系列的发现，它们通过一些单独的、拥有清晰和非凡视角的学术巨擘的努力一个引导着另一个出现。但学术史上那些伟大发现的视角通常是含糊的，而不是清晰的，相较于传奇故事，或者发现者自己经常希望去承认的那样，他们的成就更要归功于他们的朋友和同事——以及运气。在这个例子中，利伯希的望远镜只能把物体放大两到三倍，当伽利略在几年之后（1609年）第一次听说它时，他并没有多深刻的印象。他对此开始产生兴趣只是因为他的朋友保罗·萨尔皮看到了这个装置的潜力。历史学家J. L.海尔布伦把保罗·萨尔皮描绘成一个“可怕的、反耶稣会的修道士”。萨尔皮想，如果把这项发明进行改进，它将在威尼

斯获得重要的军事应用。作为一座没有城墙的城市，威尼斯需要依靠提早侦察出任何迫近的敌人的袭击来获得生存。

萨尔皮向伽利略求助，而伽利略在利用各种各样的尝试增加自己收入的同时，也会兼职制作科学仪器。萨尔皮和伽利略都没有任何光学理论的专业知识，但通过实验和犯错，伽利略在短短几个月的时间里就发明出了放大效果是9倍的仪器。他将其作为礼物送给一位惊奇不已的威尼斯元老，以换取他的终生执教资格，并使他当时的薪水翻倍，达到1 000斯库迭。伽利略经过改进最终将他望远镜的放大效果提高到了30倍，这是那种设计的望远镜的实际极限（一个平凹的目镜和一个平凸的物镜）。

到1609年12月左右，伽利略已经发明出一个放大效果达到20倍的望远镜，他把它对准天空，观测夜空中最大的物体：月球。那次观测，以及他将要做的其他观测，为哥白尼关于地球在宇宙中的位置的论断提供了当时最有力的证据。

亚里士多德声称天空形成了一个独立的王国，它由不同的物质构成，遵循不同的法则，这使得所有天体都围绕着地球做圆周运动。而伽利略看到的月球却“凹凸不平，坑坑洼洼，到处都是洞穴和突起物，并非不像地球的表面，只不过没有连绵的山脉和深谷而已”。[注] 换句话说，月球看起来并不像一个不同的“王国”。伽利略还看到木星拥有自己的卫星。这些卫星围绕着木星而不是地球旋转的事实违反了亚里士多德的宇宙哲学，但却支持了地球不是宇宙的中心，而仅仅是其中一颗行星的观点。

在这里我应该注明的是，当我说伽利略“看到”某样东西时，我并不是说他只需把望远镜拿到眼前，瞄向某个地方，然后尽情欣赏那一组革命性的新景象，就仿佛在看一出天文大戏。恰恰相反，他的观测需要长时间艰苦和乏味的工作，因为他不得不把眼睛眯上几个小时，通过他那不完美的，组装不佳的（以今天的标准）望远镜去观测，还要努力去理解他看到的东西。比如当他凝视月球时，他需要花费数周的时间去艰难地记录和理解山峰投下的阴影的运动才能“看到”它们。更要命的是，他一次只能看到1%的表面，所以要想合成一幅完整的地图，他不得不进行大量严谨的协调观测。

就望远镜而言，这样的困难表明伽利略的天才并非体现在他是如何改进仪器的，而是体现在他是如何使用它的。比如，当他感觉某个东西看起来像，例如，月球上的一座山时，他并不是简单地去相信表象；他会研究光线和阴影，并利用毕达哥拉斯定理（勾股定理）去估测这座山的高度。当他观测到木星的卫星时，他开始以为它们是恒星，但在经过多次谨慎和一丝不苟的观测，并对已知行星的运动进行计算后，他才了解到与木星相对

应的这些“恒星”的位置在不断地改变，变化的方式表明它们在做圆周运动。

在完成这些发现后，尽管伽利略不太情愿进入神学领域，但他渴望因为这些发现而被世人认可。于是他开始投入大量精力去宣传他的观测结果，并加入到以哥白尼的太阳中心论去取代公认的亚里士多德宇宙哲学的运动中。1610年3月底，他发表了《星空信使》，这本小册子描绘了他所看到的奇景。这本书立即变成了畅销书，尽管它只有（按现在的版式）60页，却震动了整个学术界，因为它描绘了月球和行星神奇的、从未被世人看到过的细节。伽利略的名声很快就传遍了欧洲，所有人都想用望远镜来一窥究竟。

那年9月，伽利略搬到了佛罗伦萨，并接受了“比萨大学首席数学家和大公爵的哲学家”的荣誉职位。他保有先前的工资，但不再有教学义务，甚至也不在比萨居住。上面提到的大公爵是托斯卡纳大公科西莫二世德·美第奇，伽利略的这项任命是一次讨好美第奇的活动的结果，它起到的作用就和伽利略伟大成就起到的作用一样多。他甚至还把新发现的木星卫星命名为“美第奇之星”。

在接受任命后不久，伽利略就得了严重的疾病，在床上躺了好几个月。讽刺的是，他很有可能得了“法国病”，也就是梅毒，这是他迷恋威尼斯妓女的结果。但即使在病中，伽利略也继续努力说服有影响力的思想家认可他的发现。在接下来的一年，当他恢复了健康，他的声望高到被邀请去罗马做关于他工作的讲座。

在罗马，伽利略见到了枢机主教马费奥·巴尔贝里尼，并被授予去梵蒂冈谒见教皇保罗五世的资格。不管从哪方面看，这都是一次成功的旅行，伽利略似乎也以巧妙的方式处理了他与教会官方教义之间的分歧，从而没有使教会觉得被冒犯——或许是因为他讲座的大部分内容都集中在他利用望远镜所做的观测上，而不是去探讨它们隐含的意义吧。

然而，伽利略随后的活动却不可避免地与梵蒂冈产生了冲突，因为教会认可的是经由圣托马斯·阿奎那创造的亚里士多德版本的宇宙哲学观，而它与伽利略的观测和解释相矛盾；此外，和他谨慎的前辈哥白尼不同的是，伽利略的傲慢让人无法忍受，即使当他向神学家咨询教会教义时也是如此。于是伽利略在1616年被召回罗马，在许多教会高级官员的面前为自己辩护。

这次辩护似乎以平局收场——伽利略并没有遭到责难，他的书也没有被禁，他甚至又一次谒见了教皇保罗；但教会权威禁止他再讲授太阳而不是

地球是宇宙的中心，以及地球围绕着太阳转动，而不是恰好相反。注最终，这个小插曲还是被证明给伽利略制造了巨大的麻烦，因为当他在17年后接受宗教审判时，大部分对他不利的证据都来自他与教会官员的会面，教会官员在会面时曾明确禁止他再讲授哥白尼学说。

然而，有一段时间，这种紧张气氛得到了缓解，特别是当伽利略的朋友枢机主教巴尔贝里尼在1623年成为教皇乌尔班八世之后。和教皇保罗不同的是，乌尔班对科学大体上还是持肯定的态度，在他统治的最初几年他很欢迎伽利略的谒见。

随着乌尔班的升职，伽利略在友善氛围的鼓励下开始准备写一本新书，这本书完成于1632年，那时他68岁。他把这个劳动成果命名为《美元托斯密和哥白尼两大世界体系的对话》（*Dialogo Sopra i due Massimi Sistemi del Mondo*）。但这场“对话”实际上只是单方面的，教会做出了反应——理由很充分——就好像这本书的名字是《为什么教会的教义是错的以及为什么教皇乌尔班是个笨蛋》。

伽利略的《对话》以朋友之间的谈话形式展开：辛普利西奥是亚里士多德的忠实追随者，萨格雷多是一名睿智的中立方，而萨尔维亚蒂则为哥白尼的观点进行具有说服力的辩护。伽利略在写这本书的时候心里很踏实，因为他已经告诉了乌尔班，而乌尔班似乎也同意了。但伽利略曾向教皇保证，他写此书的目的是为了保护教会和意大利科学免受梵蒂冈因无知而禁止讲授太阳中心论的指控——乌尔班的首肯有一个条件，那就是伽利略仅仅展示双方的学术辩论而不做评判。如果伽利略确实努力展示学术辩论而不做评判了，那他可不幸地失败了。按照他的传记作者J. L.海尔布伦的说法，伽利略的《对话》“把固守地心说的哲学家视为不配为人、荒谬、思想狭隘、愚蠢、白痴的人，而把哥白尼学说的信奉者赞誉为高等知识分子”。注

还有另一个侮辱。乌尔班原本还想让伽利略在书中加入一段否认声明，并确认教会教义的权威；但伽利略并没有像乌尔班要求的那样用他自己的话来发布这个声明，而是通过他书中辛普利西奥这个人物来表达对宗教的认可，但辛普利西奥却被海尔布伦描绘成一个“笨蛋”。教皇乌尔班可不是笨蛋，他感觉自己受到了深深的冒犯。

当尘埃落定后，伽利略因违反教会1616年的法令讲授哥白尼学说而遭到指控，并被迫发布声明放弃他的信仰。他的罪行与其说是因为他世界观里的具体细节，不如说是争夺权力和控制，或者真理“所有权”的结果。注因为构成教会精英知识分子的绝大多数人都承认哥白尼的观点有可能是正确

的，他们反对的是传播这种言论并挑战教会教义权威的叛徒。[注]

1633年6月22日，伽利略穿着象征忏悔的白色衬衣，跪在审判他的法官席前面，被命令承认《圣经》的权威，并宣布说：“我，伽利略，已故的温琴佐·伽利雷之子，佛罗伦萨人，年龄70岁……发誓我一直相信，现在同样相信，在上帝的帮助下将来也会相信所有神圣天主教和使徒罗马教会所信奉、宣扬和教授的内容。”[注]

然而，除了宣告一直信奉教会教义之外，伽利略继续供认说甚至在教会已经“公正地告知一项禁令”的情况下，他还继续鼓吹已被定罪的哥白尼理论，因此他必须，按照教会的说法，“放弃太阳是宇宙中心，不会移动，以及地球不是宇宙中心，并且移动……的错误主张”。

真正有意思的是伽利略忏悔的措辞。“我撰写和出版了一本书，”他说道，“在这本书里我论述了这个已被定罪的新学说，并为了支持它引用了极具说服力的论据。”所以即使在他宣誓效忠教会版本的真理时，他依然在捍卫他书中的内容。

最终，伽利略屈服了，他说：“教会针对我的设想的强烈怀疑是有理由的，我渴望把教义从主教大人，以及所有虔诚的基督徒的脑海中抹去，我带着诚挚的心和真实的信仰宣布放弃，诅咒并痛恨上述错误和异端邪说……我发誓未来我将永不谈论或者宣称，无论口头还是书面，有可能引发针对我的类似猜疑的任何言论。”

伽利略没有受到像宗教审判法庭施加给乔尔丹诺·布鲁诺那样的残酷惩罚。布鲁诺也曾宣称地球围绕太阳旋转，因为他的异端邪说，他于1600年在罗马被绑在火刑柱上活活烧死。但对伽利略的审判已经很清楚地表明了教会的立场。

两天后，伽利略被移交给佛罗伦萨大使进行监禁。在生命中的最后几年，他被软禁在他位于佛罗伦萨附近阿尔切特里的乡间庄园里。伽利略还在帕多瓦生活的时候育有三个私生子女。他们当中，伽利略最亲近的女儿在德国死于瘟疫，另一个女儿和他很疏远；但他的儿子温琴佐住在附近并很好地照料着他。尽管伽利略是一个囚犯，却被允许接待访客，甚至异教徒——只要他们不是数学家。他们其中一个是年轻的英国诗人约翰·弥尔顿（后来他在《失乐园》中提到了伽利略和他的望远镜）。

讽刺的是，正是在阿尔切特里的那段时间里，伽利略把他关于运动物理学最成熟的观点记录在了一本书里，他认为这是他最伟大的作品：《关于两门新科学的对话》。这本书无法在意大利出版，因为教皇禁止他的作品出

版，所以它被私运至莱顿并于1638年出版。

此时伽利略的健康状况已经下滑。他在1637年双目失明，第二年他开始遭受让人虚弱的消化问题。“我发现所有东西都让我恶心，”他写道，“葡萄酒对我的大脑和眼睛尤其不好，水让我身体侧面疼痛……我没有胃口，没有什么东西能吸引我，如果有东西吸引我，（医生）会禁止我接触。”[注]尽管如此，他的思维依然活跃，一个在他临死之前曾短暂探视过他的访客评论说——尽管有针对那种职业的访客禁令——他最近很喜欢聆听两个数学家的辩论。他于1642年去世，享年77岁。那一年牛顿出生。他临死时他的儿子温琴佐陪伴在身边——是的，还有少数几个数学家。

伽利略的遗愿是被埋葬在佛罗伦萨圣十字大教堂他父亲的旁边。科西莫大公的继任者，费迪南多甚至计划在那里为他建造一座宏大的陵墓，就在米开朗琪罗陵寝的对面。然而，教皇乌尔班却说“为（这种人）修建陵墓不好……因为好人或许会对神圣权威产生愤慨和偏见”。[注]于是伽利略的亲属只好将他的遗体安放在了一座教堂钟楼下面的壁橱大小的墓室里，并举行了一场只有少数朋友、亲属和追随者参加的小型葬礼。尽管如此，很多人，甚至包括教会里的人，都怅然若失。关于伽利略的死，在罗马的枢机主教巴尔贝里尼教廷的图书管理员勇敢地写道：“不仅照亮了佛罗伦萨，也照亮了全世界和整个世纪。从这个非凡的人物身上，我们获得的辉煌要比从几乎所有其他普通哲学家身上获得的辉煌还要多。”[注]

---

1. 《世界之战：科学与灵性如何决定未来》简体中文版已于2012年9月由中信出版社出版。——编者注

2. 中世纪从公元500年持续到公元1500年（或者在其他定义中，公元1600年）。不管持续到哪一年，它都跨越了（部分重叠）在罗马帝国文化成就与文艺复兴时期科学与艺术繁荣发展之间的时代。19世纪的人们把这一时期轻蔑地称为“没有洗澡的1 000年”。

3. 然而，伽利略的确对经德国天文学家（同时也是占星家）约翰尼斯·开普勒发展过的那一版本的哥白尼观点抱有某些同感，主要是因为它支持他自己宠爱的潮汐理论（他把潮汐归因于太阳的运动，这是错误的）。尽管如此，当开普勒呼吁伽利略发表声明以示支持时，伽利略拒绝了。

4. 尽管伽利略被禁止讲授哥白尼学说，但在他被软禁在家的日子里，他的确被允许使用望远镜继续他的工作。

5. Morris Kline,*Mathematical Thought from Ancient to Modern Times,* vol.

1(Oxford: Oxford University Press, 1972), 179.

6. Kline,*Mathematical Thought,* 204; J. D. Bernal,*Science in History,* vol. 1(Cambridge, Mass.: MIT Press, 1971), 254.

7. Kline,*Mathematical Thought,* 211.

8. David C. Lindberg,*The Beginnings of Western Science: The EuropeanScientific Tradition in Philosophical, Religious, and Institutional Context, 600B.C. to A.D. 1450* (Chicago: University of Chicago Press, 1992), 180–81.

9. Toby E. Huff,*The Rise of Early Modern Science: Islam, China, and the West*(Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1993), 74.

10. Ibid., 77, 89. Huff and George Saliba disagree on the origin and nature ofIslamic science, especially the role of astronomy, which has led to a productiveand stimulating discussion in the field. For more on Saliba's argument, see his*Islamic Science and the Making of the European Renaissance* (Cambridge,Mass.: MIT Press, 2007).

11. For more on the situation, see Huff,*Rise of Early Modern Science,* 276–78.

12. Bernal,*Science in History,* 334.

13. Lindberg,*Beginnings of Western Science,* 203–5.

14. J. H. Parry,*Age of Reconnaissance: Discovery, Exploration, and Settlement,1450–1650* (Berkeley: University of California Press, 1982). See especially Part 1.

15. Huff,*Rise of Early Modern Science,* 187.

16. Lindberg,*Beginnings of Western Science,* 206–8.

17. Huff,*Rise of Early Modern Science,* 92.

18. John Searle,*Mind, Language, and Society: Philosophy in the Real World* (NewYork: Basic Books, 1999),

19. . For more on fourteenth-century conditions, see Robert S. Gottfried,*The Black Death* (New York: Free Press, 1985), 29.

20. For a sweeping and readable examination of the history of the

concept of time, see David Landes,*Revolution in Time: Clocks and the Making of the Modern World* (Cambridge, Mass.: Belknap Press of the Harvard University Press, 1983).

21. Lindberg,*Beginnings of Western Science,* 303–4.

22. Clifford Truesdell, *Essays in the History of Mechanics* (New York: Springer-Verlag, 1968).

23. Albert Einstein, in a letter dated January 7, 1943, quoted in Helen Dukas and Banesh Hoffman,*Albert Einstein: The Human Side; New Glimpses from His Archives* (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1979), 8.

24. Galileo Galilei,*Discoveries and Opinions of Galileo* (New York: Doubleday,1957), 237–38.

25. Henry Petroski,*The Evolution of Useful Things* (New York: Knopf, 1992),84–86.

26. James E. McClellan III and Harold Dorn,*Science and Technology in World History,* 2nd ed. (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2006), 180–82.

27. Elizabeth Eisenstein,*The Printing Press as an Agent of Change* (Cambridge,U.K.: Cambridge University Press, 1980), 46.

28. Louis Karpinski,*The History of Arithmetic* (New York: Russell and Russell,1965), 68–71; Philip Gaskell,*A New Introduction to Bibliography* (Oxford,U.K.: Clarendon Press, 1972), 251–65.

29. Bernal,*Science in History,* 334–35.

30. My discussion of Galileo's life draws heavily from J. L. Heilbron,*Galileo*(Oxford: Oxford University Press, 2010), and from Stillman Drake, *Galileo at Work* (Chicago: University of Chicago Press, 1978).

31. Heilbron,*Galileo,* 61.

32. Galileo may have been suffering from multiple disenchantments. William A. Wallace argues in his*Galileo, the Jesuits, and the Medieval Aristotle*(Burlington, Vt.: Variorum, 1991) that Galileo, in preparation for his tenure at Pisa, actually appropriated much of his material from

lectures given by Jesuits at the Colegio Romano between 1588 and 1590. Wallace also has a chapter called "Galileo's Jesuit Connections and Their Influence on His Science" in Mordechai Feingold's collection*Jesuit Science and the Republic of Letters* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 2002).

33. Bernal,*Science in History,* 429.

34. G. B. Riccioli,*Almagestum novum astronomiam* (1652), vol. 2, 384;Christopher Graney, "Anatomy of a Fall: Giovanni Battista Riccioli and the Story of G,"*Physics Today* (September 2012): 36.

35. Laura Fermi and Gilberto Bernardini,*Galileo and the Scientific Revolution*(New York: Basic Books, 1961), 125.

36. Richard Westfall,*Force in Newton's Physics* (New York: MacDonald, 1971),1–4. In reality, Jean Buridan, who had been Oresme's teacher in Paris, had stated a similar law within the framework of the Merton scholars, thoughnot nearly as clearly as Galileo. See John Freely,*Before Galileo: The Birth of Modern Science in Medieval Europe* (New York: Overlook Duckworth,2012), 162–63.

37. Westfall,*Force in Newton's Physics,* 41–42.

38. Bernal,*Science in History,* 406–10; McClellan and Dorn,*Science and Technology,* 208–14.

39. Bernal,*Science in History,* 408.

40. Daniel Boorstin,*The Discoverers* (New York: Vintage, 1983), 314.

41. Freely,*Before Galileo,* 272.

42. Heilbron,*Galileo,* 217–20; Drake*, Galileo at Work,* 252–56.

43. Heilbron,*Galileo,* 311.

44. William A. Wallace, "Gallieo's Jesuit Connections and Their Influence on His Science," in Mordechai Feingold, ed.,*Jesuit Science and the Republic of Letters* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 2002), 99–112.

45. Károly Simonyi,*A Cultural History of Physics* (Boca Raton, Fla.: CRC Press,2012), 198–99.

46. Heilbron,*Galileo,* 356.

47. Ibid.

48. Drake*, Galileo at Work,* 436.

7.力学宇宙

当伽利略发表他的《关于两门新科学的对话》时，他只是将人类文化带到了新世界的边缘。是艾萨克·牛顿完成了最后的一大步，在这个过程中他为一种全新的思维方式绘制了蓝图。在牛顿之后，科学摈弃了亚里士多德受目的驱动的自然观，转而拥抱了毕达哥拉斯受数字驱动的宇宙观。在牛顿之后，爱奥尼亚人关于世界可通过观察和推理而被认知的主张被转变成了一个宏大的比喻：世界就像一块钟表，它的运行机制受到数字定律的控制，这种定律让自然世界的方方面面都可被精确地预测，也包括——许多人相信——人的互动。

在遥远的美国，它的开国元勋们在信奉神学的同时也接受了牛顿思想，并在《独立宣言》中宣称“自然法则和自然之神赋予”人类政治自治权。注 在法国，当大革命及其对科学的仇视结束后，皮埃尔–西蒙·拉普拉斯把牛顿物理学带上了一个更精密、复杂的新高度，并宣称运用牛顿理论，一个智慧超群的人可以“在相同的公式中囊括宇宙中最大的天体以及最小的原子的运动；对牛顿理论来说没有什么东西是不确定的，未来，就像过去一样，将会展现在它的眼前”。

今天我们都会像牛顿主义者一样去推理。我们会谈论一个人性格的力量，以及疾病传播的加速度。我们也会谈论身体甚至思维惯性，以及一支体育队伍的动力。在牛顿之前按照这些术语来思考问题是骇人听闻的；而在今天，不按照这些术语去思考问题也同样是骇人听闻的。即使那些对牛顿定律一无所知的人，内心深处也渗透着牛顿的观点。所以研究牛顿的著作就是在研究我们自己的根。

因为牛顿的世界观现在是我们的第二天性，要想理解他那才华横溢的创造还是需要花费些精力的。实际上，当我在高中第一次接触到“牛顿定律”时，它们看起来是如此简单，以至于我很惊讶为什么人们这么小题大做。我感到很奇怪，这个耗费了科学史上最聪明的人之一许多年时间才完成的定律，而我，一个15岁的小男孩，只上了几节课就学会了。为什么对我来说这么容易接受的概念在几百年前却如此难以掌握呢？

我父亲似乎能够理解。我给我的孩子讲的都是像发明便利贴那样的故事，而他通常讲的都是先前的乡间传说。他对我说几百年前的人在观察世界时，他们看到的现实和我们今天看到的很不一样。他告诉我当他还是一个生活在波兰的少年时，有一次他和一些小伙伴把床单盖在山羊身上，接着山羊就飞快地跑到他家里。大人们都以为他们看见鬼了。好吧，那天晚上

是犹太节日普林节，大人们差不多都喝醉了，但我父亲并没有用他们的酩酊大醉来解释他们的反应——他说他们仅仅只是按照他们的信仰背景来解释他们看到的东西，鬼魂是一个他们习惯使用并且感觉自在的概念。你可能会认为那很无知，我父亲说，但牛顿在向世人讲述宇宙的数学定律时所说的话在那个时代的人听来就像我父亲的长辈们所说的鬼魂在我听来一样奇怪。这是实话：今天，就算你从来没有上过一堂物理课，你的体内也居住着一小部分牛顿的灵魂。但假如我们没有生长在一个牛顿学说的文化里，那些现在看起来显而易见的定律对我们大部分人来说将会无法理解。注

* * *

在牛顿临死之前描述自己的一生时，他以这种方式来讲述他的贡献："我不知道世人是如何看待我的，但是，对于我自己，我一直都像是一个在海边玩耍的小孩，因为时不时地找到一块更光滑的鹅卵石或者一个更漂亮的贝壳而高兴不已，但我还没发现我面前宽广的真理海洋。"注

对于不如牛顿聪明或者高产的学者来说，牛顿的每一块鹅卵石都足以让他们建立起一个不朽的职业生涯。除了在重力和运动领域的工作以外，牛顿还投入很多年的精力去揭示光学和光的秘密，并且还创立了我们今天所熟知的物理学和微积分。当我把这些讲给我父亲听时——他在我开始研究牛顿的著作时才第一次听说这个人——他皱着眉头说："你可别像他那样。专注在一个领域就可以了！"最初我对这句话的反应是青少年特有的傲慢。但实际上我父亲说的或许有道理。牛顿的确差点儿就变成一个涉猎广泛但最终一无所获的天才。幸运的是，就像我们将要看到的那样，命运出手干预，时至今日，人们把引领思想革命的功劳记在了牛顿的头上。

有一件事情牛顿的确从来没有做过，那就是在海边玩耍。实际上，尽管他从与英国其他地区以及欧洲大陆的科学家们偶尔的互动交流中获益匪浅——通常是通过写信——他却从未离开过由他的出生地伍尔斯索普，他的大学剑桥大学，以及首都伦敦构成的这样一个小三角地带。他似乎也从未进行过任何我们大多数人理解的那种意义上的"玩耍"。牛顿的生活中并没有太多朋友或者他感觉亲近的家人，甚至一个所爱的人，因为至少在他晚年之前，想让牛顿参与社交活动就好像是去说服猫咪们聚在一起玩拼字游戏。他的远房亲戚，曾经担任过他5年助理的汉弗莱·牛顿的一句话或许最能说明问题。他说他只见牛顿笑过一次——当时有人问他为什么居然会有人想研究欧几里得。

牛顿对于认识世界并没有纯粹出自兴趣的热情，也没有通过改造世界来提高人类福祉的动力。他一生获得了许多名望，但却没有一个能与之分享的

人。他在学术上取得了成功，却在爱情上一无所获。他得到了最高的礼赞和荣誉，但却在学术争吵中花费了太多的时间。对于这样一个学术巨人，如果我们能够把他称为一个有同理心且和蔼可亲的人该有多好，但如果他有任何这样的倾向，他会成功地压制住，并变身成一个傲慢的愤世嫉俗者。他属于，如果你说天看起来灰蒙蒙的，他却会说“不，实际上天是蓝色的”那种人。更让人恼火的是，他还是那种能够证明它的人。物理学家理查德·费曼（1918—1988）在他名为《你干吗在乎别人怎么想》的书里表达了许多自以为是的科学家的感受。牛顿从来没有写过回忆录，但如果他真写了，他很有可能会把这本书命名为《我希望我真的把你惹毛了》，或者甚至是《别烦我，浑蛋》。

史蒂芬·霍金曾经告诉我他有一种很高兴自己瘫痪了的感觉，因为这让他可以更专注于自己的工作。我猜牛顿也有可能出于同样的理由会说，完全活在自己的世界里而不用与别人分享时间而浪费掉它的好处太棒了。实际上，一项近期的研究报告显示，数学优异但口才欠佳的学生更有进入科研领域的倾向。注我一直怀疑糟糕的社交技巧与科研领域的成功不无关系。我的确认识好几个成功的科学家，他们由于被认为太过古怪而无法在其他地方得到聘用，只能在以学术研究为主大学里工作。有一个研究生每天总是穿着同样的裤子和白T恤，尽管有传言说他实际上有两套这样的衣服，所以他的衣服偶尔还是洗过的。另一个家伙，一个著名的教授，他害羞到当你同他讲话时，他总是不敢正视你，说话也轻声细语，如果他发觉你与他之间的距离小于4英尺（1.22米），他就会往后退。后两种行为在一次研讨会后的闲谈中引起了麻烦，因为这让我很难听清他的话。我们第一次见面时我还是研究生，我犯了个错误，和他靠得太近，当他后退时我也天真地跟着他，结果他差点儿被椅子绊倒。

科学是一个极富美感的主题。尽管科学进步需要不同观点间的相互滋养，而这只能从与其他富有创造力的头脑的互动中获得，但它也同样需要长时间的独处，这或许为那些原本就不喜欢社交，或者甚至偏爱离群索居的人提供了明显的好处。正如阿尔伯特·爱因斯坦写的那样：“吸引人们投入到艺术和科学研究中的一个最强烈的动机是他们可以从日常生活里那些让人痛苦的粗鄙和毫无希望的枯燥中逃离……每一个动机都让这个宇宙和它的结构成为他情感生活的支点，从而以这种方式寻获平静和安全感，而这些是他无法从个人经历的狭隘旋涡中找到的。”注

牛顿对世人日常追求的鄙弃使他在追逐自己的兴趣时不会受到太多干扰，但这也导致他隐瞒了很多科学研究工作，并选择不去发表他的绝大多数著作。幸运的是，他也并没有把它们扔掉——他就像一个值得拍摄自己电视真人秀的收集狂，只不过他囤积的不是宠物尸体、旧杂志、7岁就穿不上的鞋子，牛顿的“东西”由对各种东西的胡写乱画构成，从数学、物理学、

炼金术、宗教、哲学到他所花的每一便士的账目以及他描述的他对父母的感受。

牛顿实际上保存了他写过的所有东西，甚至是一次性的演算纸和学校的旧笔记本，对于那些希望研究牛顿的人来说，这些资料让他们有机会以一种前所未有的程度去理解牛顿科学观的发展过程。他的大部分科学论文最终都捐献给了他的学术之家，剑桥大学图书馆。但其他的论文，有几百万字之多，最终在索斯比拍卖行进行拍卖，经济学家约翰·梅纳德·凯恩斯是其中一个竞拍人，他买下了牛顿关于炼金术的大部分著作。

牛顿的传记作者理查德·韦斯特福尔花费了20年的时间来研究他的生平，最后得出结论——我们“无法简单地按照我们理解自己同类的标准去理解”牛顿。注但如果说牛顿是一个外星人的话，至少他是一个留在日记里的外星人。

* * *

牛顿理解世界的努力来源于他非凡的好奇心，以及完全发自内心的对于探索的强烈渴望，就跟驱使我父亲拿一片面包去换那道数学难题答案的冲动一样。但在牛顿这个例子中，点燃他求知欲望的还有别的东西。尽管他被推崇为科学理性的典范，但就和那些千里迢迢去哥贝克力石阵朝圣的人一样，他对宇宙本质的探究和他的思想灵性以及宗教信仰紧密地联系在一起。因为牛顿相信上帝通过《圣经》和大自然现身在我们面前，所以研究宇宙定律就是研究上帝，对科学的热情其实就是另一种形式的宗教热情。注

牛顿对孤独的嗜好和他长时间的工作，至少从他的学术成就这个角度来看，是极大的优点。如果说他在思想王国中的隐居对科学来说是个福利的话，它却让这个人付出了极大的代价，而且似乎也与他童年时期的孤独和伤痛有关。

当我还在上学时，我就很同情那些不受欢迎的孩子，尤其是因为我也是其中一员。但牛顿的情况更糟糕，连他的母亲都不喜欢他。他于1642年12月25日来到这个世界，就好像一个你并没有记在清单上的圣诞节礼物。他的父亲在几个月之前去世，他的母亲汉娜一定以为艾萨克的存在会被证明是一个短命的麻烦，因为他很明显是一个早产儿，人们都认为他不可能活下来。80多年后，牛顿告诉他侄女的丈夫他刚出生时小到可以放进一个夸脱注锅里，虚弱到不得不在脖子周围垫上垫子来让脑袋和肩膀连在一起。这个小摇头娃娃的处境是如此危急，以至于当两名妇女被派到几十英里之外的地方买补给品时一直都在磨蹭，因为她们相信在她们赶回来之前

这个孩子肯定已经死了。但她们错了。脖子周围垫上垫子是让婴儿活命的必备技术。

如果说牛顿从来没有发现在他生命中拥有别人有什么用处的话，或许那是因为他的母亲似乎从不觉得他有什么用处。在他3岁那年，她嫁给了巴纳巴斯·史密斯牧师，一名富裕的教区牧师长。史密斯的年纪是汉娜的两倍还要多，他想要一个年轻的妻子，却不想要一个年幼的继子。

没有人能确定这会导致什么样的家庭氛围，但我们或许可以肯定地假设会有一些紧张气氛，因为许多年后，牛顿在他所写的关于童年的笔记中回忆说“（我）威胁我的父亲史密斯先生和母亲史密斯太太说要放火烧死他们，还要烧掉他们的房子”。注牛顿并没有说他的父母是如何回应他的威胁的，但记录显示他很快就被赶到了他祖母那里。牛顿和她相处得要好一些，但这个“好”的标准设置得却相当低。他们当然并不怎么亲密——在牛顿遗留下来的所有文字记录和涂写中，并没有一段关于她的温情回忆。不过好的一面是，记录里也没有他想要放火烧死她，把她的房子烧为灰烬的回忆。

在牛顿10岁时，史密斯牧师死了，他暂时回到了家里，这个家现在包括他母亲在第二段婚姻里所生三个小孩。在史密斯去世几年后，汉娜把牛顿送到了格兰瑟姆的一个清教徒学校，离伍尔斯索普有8英里（12.88千米）远。在那里学习期间，他寄宿在一个名叫威廉·克拉克的人的家里。这个人既是药剂师，又是化学家。他很欣赏并鼓励牛顿的创造力和好奇心。年轻的牛顿学习使用研钵和研杵来研磨化学物品；他通过对比迎风和背风跳远的距离来测量风暴的强度；他制作了一架小型风车，经过改进可以利用在踏车上跑动的老鼠来提供动力，以及一辆他可以坐进去的四轮车，可以利用转动曲柄来前进。他还制作了一只尾部带有灯笼的风筝，在晚上放这个风筝去吓邻居。

尽管他和克拉克相处得很好，但和同学却是另外一回事。在学校里，由于与众不同且明显更聪明，牛顿碰到了今天这样的孩子也同样会碰到的反应：别的孩子讨厌他。小男孩时期经历的那种孤独但却极富创造力的生活为他日后所过的那种充满创造力但却痛苦和孤立的生活埋下了伏笔。成年之后的大部分日子里他过得根本就不快乐。

在牛顿快17岁的时候，他母亲觉得他应该回到家里来管理家业，于是就把他从学校里拖了出来。但牛顿并不是一个好农夫，这证明了你也许可以是一个能计算出行星轨道的天才，但在种植苜蓿方面却是一个不折不扣的笨蛋。更要命的是，他根本就不在乎。当他的篱笆破烂不堪，他家的猪闯进玉米地时，牛顿却在小溪上修建水车，或者只是看书。正如韦斯特福尔写

的那样，他厌恶那种“放羊和铲粪”的生活。注我认识的大部分物理学家却想要这种生活。

幸运的是，牛顿的叔叔和他在格兰瑟姆的老校长介入了。他们看出了牛顿的天赋，于是在1661年6月他们把他送进了剑桥大学三一学院。在那里他将接触到他那个时代的科学思想——只等有一天去反对并推翻它。仆人们庆祝他的离去——不是因为他们为牛顿感到高兴，而是因为他对他们一直很严厉。

* * *

剑桥大学在超过35年的时间里一直都是牛顿的家，这里也是他发起思想革命的起点。尽管那场革命经常被描绘成由一系列的顿悟构成，但他掌握宇宙秘密的努力实际上更像是一场阵地战——一场接一场使人筋疲力尽的脑力战役，战场被慢慢地夺回，但也付出了大量的精力和时间。一个天赋欠佳，或者缺乏狂热奉献精神的人是不可能在那样的奋争中获胜的。

最初，甚至牛顿的生活条件也成为挣扎的来源。当牛顿去剑桥时，他母亲只给了他区区10英镑的生活费——尽管她自己每年轻轻松松就有超过700英镑的收入。这点儿生活费让牛顿跌到了剑桥大学社会结构的最底层。

在剑桥严苛的社会等级中，减费生指的是那些贫困学生，他们获取免费的食物和教育，并靠服侍富裕的学生来赚取少量的钱财：给他们梳理头发、清理靴子、带面包和啤酒、倒便壶。对牛顿来说如果能成为一个减费生还意味着一种晋级：他是所谓的亚减费生，这种人和减费生一样有着同样卑微的工作，但却不得不自己为食物和要上的课付钱。给和他一样的男孩子做仆人，而且这些人在格兰瑟姆学校还老是欺负他，对于牛顿来说一定很难咽得下这口气，因此在剑桥他品尝到了生活在底层社会是什么滋味。

到1661年时，伽利略的《关于两门新科学的对话》面世也才刚过20个年头，就和他的其他著作一样，这本书也没有对剑桥大学的课程设置产生多大影响。这也就意味着牛顿通过服务和学费换来的课程所包含的内容是学者们对于世界的全部知识，只要那些学者属于亚里士多德学派：亚里士多德宇宙学、亚里士多德伦理学、亚里士多德逻辑学、亚里士多德哲学、亚里士多德物理学、亚里士多德修辞学……他阅读亚里士多德的原著，他阅读关于亚里士多德学说的教科书，他阅读设定课程中的全部书籍。但他一本也没读完，因为和伽利略一样，他并不认为亚里士多德的论述多么让人信服。

尽管如此，亚里士多德的著作成为牛顿接触到的第一种复杂的获取知识的方式，甚至在他驳斥这些观点时，他也从这种练习中学会了如何处理自然

世界的不同问题，以及如何以一种组织严密、条理清楚的方式——并带着让人震惊的献身精神来思考这些问题。实际上，作为一个单身并且极少参加娱乐活动的人，牛顿工作起来比我听说过的任何人都要努力——每天18个小时，每周7天。这个习惯他坚持了许多年。

由于对组成剑桥大学课程内容的所有亚里士多德学科不屑一顾，牛顿在1664年开始了他漫长的通往新思维方式的征途，他当时的笔记显示他启动了自己的学习计划，比如阅读和吸收欧洲当代伟大思想家的著作，这些人包括开普勒、伽利略和笛卡儿。作为一名不算太优秀的学生，牛顿还是在1665年勉强毕业了，并被授予学者头衔，同时获得4年额外的经济资助用于学习。

在1665年夏天，剑桥爆发了一场可怕的瘟疫，学校被迫关闭，直到1667年春天才重新开放。在学校关闭期间，牛顿回到了他母亲位于伍尔斯索普的家中，在孤独中继续他的工作。在某些历史中，1666年被称为牛顿的重大之年。根据传说，牛顿坐在家庭农场里，发明了微积分，想出了运动定律，并且在看到苹果落地后，发现了他的万有引力定律。

确实，那一年并不是一个糟糕的年份，但事情也不是像人们说的那样就发生了。万有引力定律并不像一个聪明的点子那样简单，通过一次顿悟就能得到——需要做大量的工作才能为一个全新的科学传统构建基石。注并且，故事书中牛顿和苹果的形象具有破坏性，因为它让人觉得物理学家似乎只需要灵光一现就能取得进展，就好像某人的脑袋在被撞过之后现在能预报天气似的。在现实中，即便是牛顿要想取得进展，脑袋也需要被撞许多次才行，并且需要花费很多年的时间去加工他的观点并得出对它们深层意义的真实理解。和橄榄球运动员一样，我们科学家之所以会忍受这些撞击带来的头痛，是因为我们热爱我们的运动胜过我们讨厌疼痛。

大多数历史学家对那个神奇的顿悟故事都持怀疑态度，一个原因在于牛顿在瘟疫期间对于物理学的深刻见解并不是一次性出现的，而是经历了三年的时间——从1664年到1666年。此外，在那段时期结束时也并未出现牛顿革命：在1666年，牛顿本人都还不是一个牛顿主义者。他依然认为匀速运动源于运动物体的某种内在属性，而在说到“重力”这个概念时，他指的是某种源于物体原材料的内在属性，而不是地球施加的一种外部作用力。他当时所提出的观点仅仅只是一个开始，一个让他对许多东西感到困惑和纠结的开始，这些东西包括作用力、重力以及运动——所有这些基本概念最终都将构成他的伟大著作《数学原理》的主题。

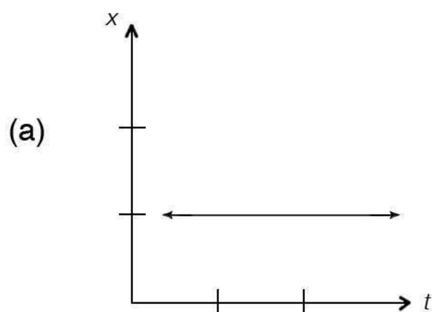
我们之所以会对牛顿在伍尔斯索普农场时的所思所想知道得比较清楚，是因为他习惯性地把它们全部记录在一本巨大的、大部分是空白的笔记本

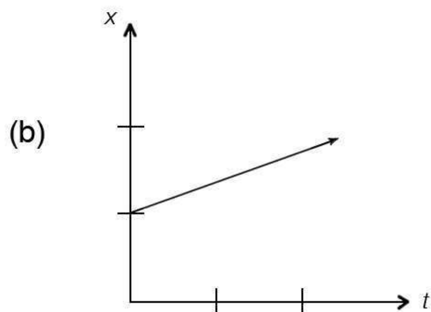
里。这个笔记本是他从史密斯牧师那里继承来的。牛顿能有那个笔记本非常幸运，在以后的岁月里，他将有足够的纸张去写下数以百万计的文字和数学注解，这些都是他的工作记录。

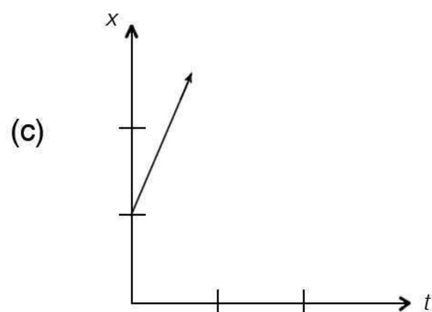
我曾经提起过像大学以及数学公式等这样的创新，但其他无名的科学革命的推动因素常常被我们忽视，其中的佼佼者就是不断增长的纸张的可获性。牛顿的运气很好，英国第一家取得商业成功的造纸厂成立于1588年。同样重要的是，皇家邮政在1635年开始向公众提供服务，这让不善社交的牛顿有机会可以和其他科学家通过信件进行交流，甚至是那些偏远地区的科学家。但在牛顿的时代纸张依然非常昂贵，所以他很珍爱他的笔记本，并将其称为“杂记簿”。在这个笔记本中我们发现了牛顿探索运动物理学的细节，从而可以一窥从这个才华横溢的头脑中想出的，时至今日依然还在发展的观点的究竟。

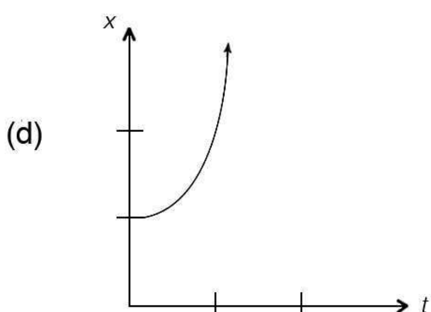
比如，我们知道在1665年1月20日，牛顿开始在他的杂记簿中记录一个针对运动的全面的数学——而不是哲学——研究。这个分析的重要之处在于他对微积分的发展，这是一种全新的、专门用来分析变化的数学工具。

使用奥雷姆的传统方法，牛顿把变化设想为一条曲线的斜率。比如，如果你用曲线图中的纵轴来代表物体运行的距离，将横轴设定为时间，那么曲线图的斜率就代表了它的速度。因此，一条平直的线条就表示位置没有发生改变，而一条斜线或者曲线则表明物体的位置发生了剧烈的变化——也就是说它在以极快的速度运动。









图(a)到图(c)表示匀速运动，图(a)表示速度为零(静止状态），图(b)表示低速运动，图(c)表示高速运动，图(d)表示加速运动。

但奥雷姆和其他人在分析曲线图时采用的方法比我们今天的更具定性特征。以距离和时间的曲线图为例，人们并不认为它的每一个点代表着物体在横轴坐标所显示的时间内经过的距离。人们也不认为曲线图的斜率代表了物体在每一个瞬间的速度。相反，对于牛顿之前的物理学家来说，速度指的是平均速度——经过的全部距离除以它所需的时间。那些都是很初级的运算，因为在那些运算中他们考虑的时间常以小时、天，甚至周为单位。实际上，在1670年之前人们还无法精确测量时间，直到英国钟表匠人威廉·克莱门特发明出钟摆式钟表之后，人们才有可能在测量时间时将其精确到接近于秒。

牛顿的分析所揭示的内容超越了平均数的意义，使人们认识到了曲线图和它的斜率在每一个单独的点上所具有的价值。他解决了一个之前还从来没有人可以解决的问题：你怎样定义一个物体的瞬时速度，它在每一个瞬间的速度是多少？当物体运动所需时间实际上只是一个单独的时间点时，你怎样用它来除物体这个点上运动的距离？这样做有意义吗？在他的杂记簿中，牛顿解决了这个问题。

如果说伽利略喜欢想象“极限情况”，比如把一块平面一直倾斜，直到它变成垂直状态，牛顿则将这种理念带到了一个全新的极限。为了定义给定时间内的瞬时速度，他首先设想以传统方式计算出平均速度，这段时间包含了所说的那个时间点。接着他设想出一种全新的、抽象的东西：将那段时间不断压缩，直到在极限情况下，它的长度趋近于零。

换句话说，牛顿设想你可以让时间小到比任何有限数还要小——然而又要比零大。今天我们把这样一个间隔的长度称为“无穷小”。如果你计算出一段时间内的平均速度，然后将那段时间压缩到无穷小，你就得到了这个物体在一瞬间的速度，也就是它的瞬时速度。

找出物体在给定时间内的瞬时速度——或者，更通常的说法，一条曲线在给定时间点上的斜率——所用到的数学定律构成了微积分的基础。注 如果构成化学物质的原子是不可分割的，那么无穷小就像是构成空间和时间的不可分割物。

利用他的微积分，牛顿发明了变化的数学。特别是在计算运动方面，他把瞬时速度的复杂概念引入到文化当中，而这个文化最近才发明出它有史以来第一种测量速度的办法——把一条打结的绳子从船尾扔进海里，绳子的一头固定在一个轮盘上，通过数给定时间内经过的绳结个数来计算速度。现在，有史以来第一次，人们在谈论物体在某个特定瞬间的速度时——或者任何东西的变化时——有了意义。注

今天微积分被用来描述所有类型的变化——空气流过机翼的方式、人口增长以及天气系统变化的方式、股票市场的上涨和下跌、化学反应的发展过程。在任何一家你需要用图表表示数量的企业里，在所有现代科学领域里，微积分都是一个重要工具。注

微积分最终帮助牛顿把物体在任何给定时间所受到的作用力同它在那个瞬间速度的变化联系在了一起。并且，它还向人们展示了如何通过叠加速度上所有细微的变化来得到物体的运动路径，并以时间函数的方式将其呈现出来。但那些定律和方法要在几十年后才会出现。

在物理学方面，就和在数学方面一样，牛顿的杂记簿里记录的东西远远超越了人们的想象。比如在牛顿之前，物体间的碰撞被视为这两个物体内部构造的一种竞争，就像两个壮硕的角斗士争着把对方扔出竞技场一样。然而，按照牛顿的思维方式，在对物体进行分析时只能考虑施加在它身上的外部原因——也就是说，作用力。

尽管在思维方式上有了进步，但在他的杂记簿中所记录的100多条关于这

个问题的公理中，牛顿对于他所说的“作用力”只提供了一个不完美的、令人费解的表述。特别是，他并没有给出如何把作用力量化的提示，比如因地球牵引力而产生的那种作用力，或者使物体运动状态发生变化的那种作用力。牛顿在伍尔斯索普那些年里开始描绘的那幅画他花费了几乎20年的时间才将其完美化——而它离点燃牛顿革命的星星之火还相差甚远。

* * *

物理学家杰里米·伯恩斯坦讲述了一个关于奥地利物理学家沃尔夫冈·保利在1958年访问美国的故事。保利给哥伦比亚大学的观众描述了一种理论，但在观众席上就座的尼尔斯·玻尔似乎对这个理论有所怀疑。保利承认第一次见到他的理论时或许会觉得它有些疯狂，但玻尔回应说，不，问题是这个理论还不够疯狂。听到这句话，保利转向观众席辩解说：“是的，我的理论足够疯狂！”紧接着玻尔坚持说：“不对，你的理论还不够疯狂！”“很快这两位著名的物理学家就在观众面前气冲冲地走来走去，互相叫喊，看起来就像两个五年级的学生。

我提起这个是为了说明所有物理学家以及所有革新家的错误观点比正确观点还要多，如果他们非常擅长做自己所做的事情，他们也同样拥有疯狂的想法，而这些才是最好的那种——当然，只要它们是正确的。从错误观点中甄别出正确观点不是一个容易的过程，需要耗费大量的时间和精力。因此我们应该对那些拥有古怪想法的人报以同情。实际上，牛顿就是其中一员：在瘟疫暴发期间取得了这样一个幸运的开局后，他下半辈子的大部分时间都花在了追逐错误观点上，许多后来研究他工作的学者都认为这些观点是疯狂的。

事情一开始进展得非常顺利。在1667年春天剑桥大学重新开放后不久，牛顿回到了三一学院。那年秋天，三一学院举行了一场选举。注我们时不时地都会面对一些会对我们的未来产生巨大影响的互不相关的处境——个人面临的挑战、改变我们生活的工作面试，以及有可能会对我们日后的机遇产生重要影响的大学或职业学校的入学考试。对于牛顿来说，三一学院的选举是所有这些的总和：它的结果将决定这个24岁的年轻人是留在大学里一个被称为“研究员”的高级职位上，还是回去过一种“放羊和铲粪”的生活。他的机会并不大，因为三一学院已经三年没进行过选举了，并且只有9个职位空缺，但候选者却要多得多，他们中的很多人都有政治背景，有些人甚至还有国王签署的信件，命令一定要选他们。但牛顿真的被选上了。

现在他的种田生涯被远远地甩在了身后，人们或许会以为牛顿将下定决心展开工作，把他杂记簿中关于微积分和运动的想法转化成牛顿定律。但他

并没有这么做。相反，在接下来的几年中，牛顿在两个相差甚远的领域里取得了不俗的成就——光学和数学，特别是代数。后者产生了很好的回报，他很快就被剑桥大学的数学家小圈子视为天才。结果，当富有影响力的艾萨克·巴罗从卢卡斯数学教授这个声望很高的职务上卸任时——史蒂芬·霍金在几个世纪之后担任的就是这个职务——巴罗有力地安排了牛顿坐上了他的位子。注以那个时代的标准来看他的薪水相当丰厚：牛顿的大学愿意提供给他的工资是他母亲愿意给他的10倍——每年100英镑。

牛顿在光学领域的努力并没有让他获得很好的回报。当他还是学生时，他就曾阅读过由牛津大学科学家罗伯特·玻意耳（1627—1691）和罗伯特·胡克（1635—1703）最近撰写的关于光学和光的著作。玻意耳同时还是化学领域的先驱。罗伯特·胡克“弯腰驼背，面色苍白”，不仅是一名优秀的理论家，更是一名富有才华的实验家，这一点在他担任玻意耳的助理时显现无遗。玻意耳和胡克的著作启发了牛顿，尽管他从未承认这一点。但很快他不只是进行数学运算，他也开始展开实验，比如通过打磨玻璃来改进望远镜。

牛顿从各个角度展开光学研究。注他用一枚针状的锥子戳自己的眼睛，用力压它，直到他眼前一片空白，只能看见彩色的圆圈。光线是从压力中产生的吗？他盯着太阳一直看，直到忍受不了时为止——时间长到他花了好几天才恢复过来——他注意到当他把视线从太阳上移开时，他看到的颜色是失真的。光是真实存在的还是想象的结果呢？

为了在实验室研究颜色，牛顿在他书房仅有的一扇窗户的百叶窗上钻出一个小孔，可以让阳光透进来。哲学家认为太阳的白光是最纯的那种光，完全没有颜色。胡克用这样的光照射棱镜，发现从棱镜里出来的光是带有颜色的。他推断说像棱镜这样的透明物质会产生颜色。牛顿也同样用光照射棱镜，但他却得出了一个不同的结论。他注意到尽管经过棱镜的光变成了彩色光，但当用彩色光照射时，棱镜并没有让颜色发生改变。最终，牛顿推断说玻璃并不会产生颜色，而只是——以不同的角度弯曲光线会得到不同的颜色——将组成白光的颜色分离出来了而已。牛顿宣称白光并不是纯净的，它是一种混合光。

这样的观察引导着牛顿在1666年和1670年之间得出一个关于颜色和光的理论。这个结论的结果是——当胡克将其称为一种假说时牛顿被激怒了——光是由像原子那样的微粒的光线组成。我们现在知道牛顿理论的细节是错误的。当然，爱因斯坦在几百年后恢复了微粒的概念——今天它们被称为光子。但爱因斯坦的微粒是量子微粒，它们并不遵循牛顿理论。

尽管牛顿在望远镜上的工作给他带来了名声，但光线微粒的概念遭到了人

们极大的质疑，就像爱因斯坦的理论在他的时代遭到的质疑一样。至于罗伯特·胡克，他的理论把光描述成由波构成，这个理论遭到了人们的反对。并且，胡克抱怨说牛顿只是把他之前所做的实验略作改动就把它们当成了自己的。

数年间对光学废寝忘食的研究却让牛顿卷入了一场学术战争，并且很快这场战争就变得激烈和恶毒。更糟糕的是，胡克是个急性子，行事鲁莽，短短几个小时就可以写出对牛顿的回复，而牛顿是一个一丝不苟，对所有事情都小心谨慎的人，他感觉有必要投入大量工作来准备他的答复。他光在一个例证上就花费了好几个月的时间。

个人之间的恩怨暂且放在一边，这是牛顿第一次经历新科学方法的社会面——公众讨论和观点驳斥。牛顿对此并没有兴趣。他原本就是一个孤僻的人，他退出了。

由于对数学感到厌倦，并且对他光学理论的批评也让他感到愤怒，到17世纪70年代中期时，牛顿——才三十出头，却满头灰发，通常还不梳理——实际上与整个科学界断绝了联系。他在之后的10年一直保持这种隔绝状态。

对冲突的厌恶并不是他陷入新的、几乎完全孤立的唯一原因——在过去数年间，甚至当他还在研究数学和光学时，牛顿就开始把他每周100个小时的工作时间的重心转移到了两个新爱好上，他并不渴望与任何人讨论这些爱好。这些“疯狂的”研究计划也是他后来一直饱受批评的原因。而它们也确实不属于主流：以数学和文本分析法来解读《圣经》，以及炼金术。

对后来的学者来说，牛顿做出投入到对神学和炼金术研究的决定是无法理解的，就好像他为了给基督教科学派写小册子而放弃了给《自然》杂志供稿一样。然而，那些评判并没有把这项事业的真实范围考虑在内，因为把他在研究物理学、神学以及炼金术时所投入的努力统一起来的目标是一致的：了解世界真相。简单地思考一下这些努力很有意思——并不是因为它们被证明是正确的，也不是因为它们证明牛顿精神失常，而是因为它们凸显了在有成果的科学研究与没有成果的科学研究之间那条窄窄的分界线。

牛顿相信《圣经》会通过它的某种元素把真相披露给虔诚的信徒，但简单的文本阅读并不能够参透它。他也同样相信过去那些虔诚的信徒，包括像瑞士医师帕拉塞尔苏斯这样的伟大炼金术士，拥有上帝赐予的深刻见解，并把它们以一种加密的形式包含在他们的作品中，以躲避那些不虔诚的人。在牛顿发现他的重力定律后，他甚至相信摩西、毕达哥拉斯以及柏拉图在他之前就已经知道了它的存在。

鉴于他的天赋，牛顿想把他的观点转化成对《圣经》的数学分析是可以理解的。他的工作引导着他得出了他认为的创世纪、挪亚方舟，以及其他《圣经》事件的精确日期。他也对一个基于《圣经》的关于世界毁灭的预言进行计算并不断对其进行修订。注他其中一个最终的预言说世界将会在2060~2344年之间的某个时间毁灭。（不知道这会不会被证明是真的，但奇怪的是，这确实和地球气候变化的某些场景非常吻合。）

此外，牛顿开始怀疑《圣经》中某些章节的真实性，并相信一个巨大的骗局破坏了早期教会的遗产，就是为了支持耶稣作为上帝的观点——他认为这个观点是偶像崇拜。简而言之，他并不相信三位一体，这很讽刺，因为他就是三一学院的教授。这同样也很危险，因为他极有可能会丢掉他的职位，或许更要命的是，他把他的这些观点告诉了不应该告诉的人。但当牛顿致力于重新解读基督教时，他却对让外界知道他的工作非常慎重——尽管牛顿把他在宗教方面的工作，而不是他在科学领域革命性的工作视为他最重要的成就。

牛顿在那些年的另一项热爱——炼金术——也同样耗费了他大量的时间和精力，并且那些研究还将持续30年，这比他投入到物理学研究上的时间多得多。它们同样也耗费资金，因为牛顿建造了一个炼金实验室和图书馆。在这里，我们同样也会错误地把他的努力简单地视为非科学行为，因为就像他的其他追求一样，他的研究进行得非常认真仔细，并且，鉴于牛顿根深蒂固的信仰，这些研究都进行了详尽的论证推理。牛顿又一次得出一个对于我们来说难以理解的结论，因为他的推理论证是在一个更大的、我们根本就不熟悉的背景下展开的。

今天我们会把炼金术士想象成穿着长袍，留着长须，念着咒语试图把肉豆蔻变成黄金的人。我们目前所知最早的炼金术士是一个名叫孟地斯的波洛斯的埃及人，他生活在公元前200年左右，每一次当他结束“实验”时他都会念咒语：“一种本性在另一种本性中得到快乐。一种本性毁灭另一种本性。一种本性控制另一种本性。”注这听起来就好像是两个人结婚时，他在把有可能发生的不同事情罗列出来。但波洛斯口中所说的本性其实是化学物质，他也确实对化学反应有一定的了解。牛顿相信在遥远的过去，像波洛斯这样的学者已经发现了深奥的真理，虽然它们都已失传，但可以通过分析希腊神话来复原它们，牛顿相信在希腊神话里有以密码形式写成的炼金术秘方。

在研究炼金术时，牛顿依然保持着他一丝不苟的科学态度，无数次仔细地展开实验，并详尽地做笔记。所以这位未来《数学原理》——通常被称为科学史上最伟大的著作——的作者同样花费了数年时间在笔记本里记满了在实验室中观察到的现象，比如：“把不稳定的绿狮溶入维纳斯的盐中进

行蒸馏。这种精油是绿狮，绿狮维纳斯的血。用毒液杀死了一切的巴比伦恶龙，被狩猎和月亮女神戴安娜的鸽子战胜，它是墨丘利的黏合剂。”注

当我开始我的科研生涯时，我把所有惯常的英雄都视为偶像——像牛顿和爱因斯坦那样的历史人物，以及像费曼那样的当代天才。对于一个年轻的科学家来说，进入一个出现过所有那些伟大人物的领域会带来巨大的压力。我第一次收到加州理工的任命时就感觉到了这种压力。注那种感觉就好像是我第一天上高中的前夜，当时我很担心上体育课，尤其是我要在所有其他男孩子的面前洗澡。因为在理论物理学领域你暴露自己——不是身体，而是智商，其他人真的会看，并且他们也会评头论足。

很少会有人和别人提起或者分享这种不安全感，但它们却是普遍存在的。每个科学家都不得不找到自己应对压力的办法，如果他们想取得成功的话，有一种结果每个人都会避免，那就是害怕犯错的倾向。托马斯·爱迪生有一句建议常被人提起：“想有一个伟大的点子，那就多去想些点子。”确实如此，任何一个革新家在走上金光大道之前都会钻进更多的死胡同，所以如果担心走错方向而停滞不前，你永远不会到达某个有意思的地方。因此在我的职业舞台上，我非常乐意去了解牛顿所有的错误观点以及浪费的光阴。

和我一样，有些人会因为知道那些聪明无比的人有时也会犯错误而感到安慰，对于像我们这样的人来说，甚至是牛顿那样的天才也有可能误入歧途，知道这一点让人深感宽慰。他或许能弄懂热量是微小颗粒运动产生的结果，他相信所有物质都是由这种微小颗粒构成的，但当他以为自己患上肺结核时，他却会喝一种由松节油、玫瑰水、蜂蜡和橄榄油制成的“药剂”。（这种药剂同样还被认为对于胸痛和被疯狗咬伤有好处。）是的，他发明了微积分，但他也认为在耶路撒冷那座遗失的所罗门王圣殿的平面图上包含有世界毁灭的数学提示。

为何牛顿会如此偏离航道呢？当人们研究这种状况时，一个因素从所有其他因素中跳了出来：牛顿的孤立。正如中世纪阿拉伯世界的学术孤立导致伪科学的扩散一样，同样的事情似乎也束缚着牛顿，尽管他的孤立是自己选择的，因为他把他的宗教信仰和炼金术当作秘密隐藏起来，不愿意被嘲笑或是在学术辩论中遭受责难。这里并没有一个“好牛顿”和一个“坏牛顿”，一个理性和一个非理性的牛顿，牛津大学哲学家W. H.牛顿-史密斯写道。注相反，牛顿误入歧途是因为他没有把自己的观点付诸讨论，并“在公共论坛中”接受挑战，而这是“科研机构常态”中最重要的活动之一。

由于对批评过敏，牛顿也同样不愿意分享他在瘟疫发生期间完成的关于运动物理学的革命性研究。在他担任卢卡斯教授的15年时间里，那些观点一

直没有对外发表，也一直没有最终完成。结果，到了1684年，在他41岁的时候，这个像疯子一般勤奋的前神童仅仅只出产了一堆毫无条理的关于炼金术和宗教的笔记和短文，一个充斥着尚未完成的数学论文的研究课题，以及一个依然混乱和不完整的运动理论。牛顿曾在很多领域都展开过细致的研究，但并没有得出合理的结论，这些遗留下来的数学和物理学观点就像一杯过于饱和的盐水：内容很多，但却尚未结晶。

这就是那个时期牛顿的工作状态。历史学家韦斯特福尔说："假如牛顿在1684年就死了，而他的论文保留了下来，我们只能从这些论文中得知有一位天才曾经生活过。注然而，我们并不会把他誉为塑造现代学术的标志性人物，我们至多会在只言片语中哀叹他未能获得最终的圆满。"

这之所以没有成为牛顿的命运，不是由于他有意识地决定去完成并发表他的著作。恰恰相反，在1684年，科学的历史进程被一个几乎是偶然的碰面改变了，与一位同事的互动为牛顿提供了他急需的观点和动力。如果没有那次碰面，科学史以及今天的世界将会大不一样，并且不会变得更好。

* * *

那是一个炎热的夏末，牛顿与一位恰巧路过剑桥的同事见了一面，于是，那颗成长为世人前所未见的科学史上最伟大进步的种子开始萌发了。

在充满宿命意味的那一年的1月，天文学家埃德蒙德·哈雷——以彗星闻名——参加了伦敦皇家学会的一次会议，与他的两位同事讨论当时的一个热点问题。皇家学会是一个致力于科学研究的富有影响力的学术社团。几十年前，使用由丹麦贵族第谷·布拉赫（1546—1601）收集的具有前所未见精确度的行星数据，约翰尼斯·开普勒发现了三条似乎可以用来描述行星轨道的定律。他宣布说行星的轨道是以太阳为其中一个焦点的椭圆，并且说他识别出了那些轨道遵循的某些定律——例如，行星完成一次轨道运行所需时间的平方和它与太阳之间平均距离的立方成正比。从某种意义上说，他的定律很完美，而且对行星如何在太空中运行有着简明的描述。但从另一个层面说，它们只是空洞的观测，纯粹的陈述，并没有为行星为何要沿着这样的轨道运行提供深刻见解。

哈雷和他的两位同事怀疑开普勒的定律反映出一些更深层次的真相。特别是，他们推测，假设太阳用一种作用力将每一颗行星拉向自己，而这种作用力会随着行星距离平方的增加而逐渐减弱，在这种情况下开普勒的定律会不会依然适用？这种数学形式被称为"平方反比定律"。

一个像太阳的遥远天体，它从各个方向产生的作用力应该随着你与这个天体之间距离平方的增加而逐渐减弱，这可以通过几何学来证明。设想出一

个巨大的球体，它大到在它的中心太阳看起来仅仅只是一个点。这个球体表面上所有的点与太阳的距离都相等，因此，只要人们还具备推理能力去相信这一点，他们就会猜到太阳的物理影响——实质上，它的“力场”——应该以相同的强度延伸到球体的表面。

现在再设想出一个球体，比如，两倍大的。几何定律告诉我们球体半径增加一倍它的表面积会增加到原来的4倍，所以现在太阳吸引力的延伸距离是原来的4倍。那么，在那个更大的球体上任意指定一点，太阳吸引力的强度将会是原来的1/4，这就可以说得通。这就是“平方反比定律”如何发挥作用的：当你走得更远，作用力会随着你的距离平方的增加而降低。

哈雷和他的同事怀疑平方反比定律是否支持开普勒的定律，但他们能证明它吗？他们其中一个——罗伯特·胡克——说他可以。另一位同事名叫克里斯托夫·雷恩，他在今天以建筑家的身份闻名，但他其实也是一位著名的天文学家。他为胡克提供一笔奖金来交换他的证明。但胡克拒绝了。人们都知道他的性格很执拗，但他给出的理由却很值得怀疑：他说他会推迟披露证明的时间，这样其他人在无法解决这个问题时就会意识到它的难度。或许胡克确实解决了那个问题。或许他还设计出了一架可以飞往金星的飞船。但不管怎样，他从没有提供他的证明。

那次会面7个月之后，哈雷来到了剑桥大学，决定去看望一下孤独的牛顿教授。和胡克一样，牛顿说他已经完成了可以证明哈雷推测的工作。也和胡克一样，他并没拿出他的证明。他翻找了一些论文，但没有发现他的证明，于是承诺说他会继续找，等找到之后会寄给哈雷。几个月过去了，哈雷什么也没收到。人们禁不住想知道哈雷脑子里在想什么。他问两个成熟的成年人是否可以解决一个问题，一个说：“我知道答案但我就是不告诉你！”而另一个却理直气壮地说：“我的家庭作业让狗吃了。”雷恩保留了他的奖金。

牛顿的确找到了他要找的证据，但当他再一次检查时，发现它有问题。但牛顿并没有放弃——他重新修改了他的观点，最终他成功了。那年11月，他给哈雷寄去了一份9页的论文，证明开普勒的三条定律的确是吸引力的平方反比定律的数学结果。他把这篇短文称为《论天体在轨道上的运动》（*De Motu Corporum in Gyrum*）。

哈雷非常激动。他认定牛顿的论述方法是革命性的，他想要皇家学会发表它。但牛顿不同意。“我现在还在研究这个课题，”他说，“在我发表我的论文之前我很想知道它的根源。”注牛顿“很想知道”？因为接下来他所付出的巨大努力产生的或许是人类有史以来最重要的学术发现，所以这几个词构成了历史上最保守的话之一。通过证明在行星轨道问题之下隐藏的是一

个普遍的运动和作用力理论，牛顿找到了“它的根源”。这个理论适用于所有物体，包括天上的和地上的。

接下来的18个月，牛顿除了扩充他的论文之外什么也没做。这篇论文最终将会变成《数学原理》。他就像一台物理学机器。他一直的习惯就是当他忙于某个课题时，他会省略掉吃饭甚至睡觉的时间。据说他的猫由于老吃他留在盘子里的食物而变得肥硕起来，他的大学室友报告说他经常在早上看到牛顿还在他头一天晚上待着的那个地方，依然还在解决同一个问题。但这一次牛顿甚至更加极端。他完全切断了与所有人的实际接触。他很少离开他的房间，只是偶尔去一趟学校餐厅，通常只是站着随便吃一点东西，然后马上回到他的住处。

牛顿最终关闭了他炼金实验室的大门，把他的神学研究搁置一边。他的确还按照要求继续讲课，但讲课的内容却怪异晦涩并且无法听懂。人们后来才发现其中的原因：牛顿只是在上课时出现在课堂上，朗读他《数学原理》的草稿。

* * *

在他被投票选举为三一学院的一名研究员后的许多年里，牛顿或许并没有十分努力地推动他在作用力和运动方面的工作向前发展；但在17世纪80年代，他是一个比他在17世纪60年代瘟疫发生期间更伟大的知识分子。他拥有更成熟的数学思想，并且在对炼金术的研究中获得了更多的科学经验。一些历史学家甚至相信正是由于他花费了很多年来研究炼金术，才促成他取得了运动科学的最终突破，引导着他写出了《数学原理》。

有趣的是，促成牛顿取得突破的其中一个催化剂是罗伯特·胡克5年前写给他的一封信。胡克在信中提出了一种观点，他认为轨道运动可以被视作是两种倾向不同的运动的总和。设想一个天体（例如一颗行星）围绕着另一个吸引它的天体(例如太阳）做圆周运动。假设这个沿轨道运行的天体有一种以直线继续运动的倾向——也就是说，飞离它的曲线轨道，直接向前冲出去，就像在下雨天转弯时打滑的一辆汽车。数学家把这种情况称为沿切线方向离开（切向运动）。

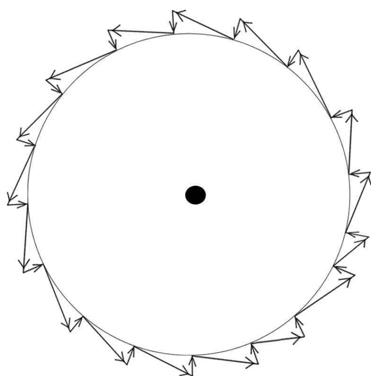
现在再设想一下，这个天体还有第二种倾向，一种指向这个轨道中心的吸引力。数学家把沿着这个方向的运动称为径向运动。胡克说，径向运动倾向可以补充切向运动倾向，因此，两者相加，便产生了轨道运动。

人们很容易看到这个观点在是如何引起牛顿共鸣的。在回忆起那封信后，为了完善伽利略的惯性定律，牛顿在他的杂记簿中假设说所有天体都倾向于沿直线运动，除非受到某种外部原因，或作用力的干扰。对于一个沿轨

道运行的天体而言，它的第一倾向——沿直线方向离开轨道——是那个定律的自然结果。牛顿意识到如果在那种情况下再加进一种作用力，一种吸引天体朝向轨道中心的作用力，那么就可以为径向运动，也就是胡克的第二个必要因素提供解释。

但如何以数学形式来表述它呢？特别是，如何才能在平方反比定律的特定数学形式和开普勒发现的轨道的特定数学性质之间建立起联系呢？

设想将时间切分成极小的间隔。在每一个间隔中，沿轨道运行的物体可被认为在做小幅切向运动的同时，也在做小幅的径向运动。这两种运动交织而成的网将物体拉回到它的轨道，但此时它离圆周的距离要比它开始时的地方远一些。这种情况多次重复的结果就形成了一个锯齿状的环形轨道，如图所示。



切向运动和径向运动形成了圆周运动

在这样一个轨道中，如果时间间隔足够小的话，人们可以按照希望的那样把运动路径设想成无限接近于圆形。在这里就可以应用到牛顿的微积分：如果时间间隔是无穷小，为了所有实用目的，运动路径就是一个圆形。

那就是牛顿的新数学支持他创造的对于轨道的描述。一个沿轨道运行的物体沿切线方向运动，又沿径向方向“降落”，从而形成一个锯齿状的运动路径，他将这些画面整合在一起——接着他又考虑极限情况，在这种情况下，锯齿的直线部分小到可以忽略不计。那将有效地抹平运动路径上的锯齿，从而得到一个了圆环。

按照这种观点，天体因为受到一种把它拉向某个中心的作用力的影响而不断地偏离它的切向路径，轨道运动指的就是这种天体运动。只有实践才能说明好不好：通过在他的轨道数学中使用平方反比定律来表述向心力，牛顿成功地证明了开普勒的三条定律，就像哈雷要求的那样。

牛顿最伟大的成就之一就是他证明了自由落体和轨道运动都是同一种作用力和运动定律的实例，因为它一次性地否定了亚里士多德所说的天空和地球是不同王国的论断。如果说伽利略的天文观测揭示了其他行星的特征和地球没有什么两样的话，牛顿的工作证明了自然定律也同样适用于其他行星，而非地球所独有。

然而，即使在1684年，牛顿对于重力和运动的见解也不像那个苹果落地的故事所表现的那样是一次醍醐灌顶般的顿悟。[注]相反，重力普遍存在这个重要观点似乎是牛顿在修订《数学原理》早期草稿时才逐步发展形成的。

之前，科学家怀疑行星是否会施加一种重力作用力，他们相信行星的重力只影响它们的卫星，而不会对其他行星产生影响，就好像每颗行星都是一个独立的世界，拥有自己的定律。确实也是这样，牛顿自己刚开始研究时也只是怀疑物体落向地球的原因是否只可以用来解释地球对月球的牵引力，而不能解释太阳对其他行星的牵引力。

这是一种证明，对牛顿创造力的证明，对他跳出常规模式来思考问题的能力的证明，他终于开始质疑那种传统的思考方式了。他给一位英国天文学家写信，希望得到1680—1684年间关于彗星的数据，以及当木星和土星相互靠近时它们的轨道速度。在使用这些精确数据进行了一些使人筋疲力尽的运算并对比结果之后，他开始相信同样的重力定律到处都可以适用——不单在地球上，也在所有天体之间。他修订了《数学原理》的内容来反映这种情况。

牛顿定律的力量并不单单只体现在它们革命性的概念内容上。利用这些定律，他也可以做出空前精确的预测，并把它们和实验结果进行对比。比如，使用月球距离和地球半径的数据，并把月球轨道因受到太阳牵引力的影响而发生的变形、地球自转时产生的向心力，以及地球的形状并非一个完美的球体等这样的细节考虑在内，牛顿推断说，在巴黎的纬度，一个物体从静止状态掉落，它在第一秒降落的距离是4.58米。[注]从来都是一丝不苟的牛顿通报说这个数据同实验结果相比要精确1/3 000。[注]并且，他还不辞劳苦地用不同的材料来重复这个实验——金子、银子、铅块、玻璃、沙子、盐、水、木头以及麦子。他断定，每一个单一的物体，无论它们的成分如何，也无论它们是在地球上还是在天上，都会吸引其他物体，并且这种吸引力永远遵循同样的定律。

* * *

当牛顿最终“找出根源”时，《论天体在轨道上的运动》已经从9页变成了3

卷——《数学原理》，或者它的全称，《自然哲学的数学原理》。

在《数学原理》中，牛顿不再只研究天体在轨道上的运动，他详细描绘了作用力与运动的普遍理论。它的核心是三种物理量之间的相互关系：作用力、动量（他将其称为运动总量），以及质量。

我们已经看到牛顿是如何努力发展他的定律的。现在让我们来看一看他的三条定律是什么意思。在第一条定律中他把伽利略的惯性定律进行了改进，并增添了作用力是运动状态发生改变的原因这样一个重要概念。

> 第一定律：一切物体总保持静止状态或匀速直线运动状态，除非作用在它上面的力迫使它改变这种状态。

和伽利略一样，牛顿把物体以恒定速度沿着直线方向运动的状态视为物体的自然状态。因为在今天我们已经习惯按照牛顿式的表述来思考问题，我们很难去想象这个概念有多违背常理。但我们在世界上看到的大多数运动并不是按照牛顿描述的那种方式进行的：物体在降落时速度会加快，或者当它们遇到空气阻力时速度会放慢，当它们落向地球时它们的轨迹是弯曲的。牛顿坚称所有这些从某种意义上说都是异常运动，是重力或者摩擦力等这些看不见的作用力导致的结果。他说，如果单独留下一个物体，它会做匀速运动；如果它的运动路径是曲线的或者它的速度发生了变化，那是因为它受到了某种作用力的影响。

单独的物体会保持它们的运动状态，这个事实给了我们探索宇宙空间的能力。比如，一辆陆地上的法拉利跑车可以在不到4秒的时间里从零加速至每小时60英里（96.56千米），但它必须非常努力才能维持住那个速度，因为它会受到空气阻力和摩擦力的影响。一架外太空里的飞行器在约10万英里（16.09万千米）的距离中只会碰到一个游离的分子，所以你大可不必担心摩擦力或者阻力。这就意味着一旦你发动了一架航空器，它将继续以恒定速度沿着直线向前运动，而不会像法拉利跑车那样慢下来。并且如果你一直开着引擎，它将会持续加速，不会因为摩擦力而损失任何能量。假如你的宇宙飞船只有法拉利跑车那样的加速度，如果你保持这个速度开上一年，而不是一秒钟，你的速度可以超过光速的一半。

当然，这里也会出现几个实际问题，比如你必须携带的燃料的重量以及相对论的影响，这个我们之后会谈到。同样，如果你想去某颗恒星，你需要瞄准目标：星系太分散了，如果你只是随意地将你的飞船指向某一点，在它遇到另一个太阳系之前，它经过的平均距离将比宇宙大爆炸之后光经过的距离还要远。

牛顿并没有设想过人类访问其他行星，但是，他断言作用力会引起加速，在他的第二定律中他将作用力的总量、质量以及加速度之间的关系进行了量化（在现代表述中，“运动的变化”指的是动量的变化，比如，它等于质量乘以加速度）：

> 第二定律：运动总量的变化与施加的动力成正比，并沿该力的作用方向发生变化。

设想你推一辆里面坐着一个小孩的手推车。这条定律说，在忽略掉摩擦力的情况下，如果你在一秒钟内施加的推力可以让一辆里面坐着小孩的75磅重的手推车以每小时5英里的速度移动，那么如果这辆车里坐的是一个150磅重的年轻人，你就不得不花两倍的力气，或者两倍的时间，才能使它获得同样的速度。好消息是（同样忽略摩擦力）你可以用一万倍的力气来让一架的750 000磅重的大型喷气式飞机以每小时5英里的速度移动（这很难做到），或者花费1万倍的时间（这仅仅需要耐心）。所以如果你可以在1万秒内（这只需要不到2小时47分钟）保持你的力度不变的话，你就可以让一架坐满乘客的大型喷气式飞机像手推车那样移动。

今天我们把牛顿的第二定律写成F＝ma——作用力等于质量乘以加速度——但直到牛顿去世之后很久，差不多在他提出它之后的100年，他的第二定律才以数学等式的形式出现。

在他的第三定律中，牛顿说宇宙中的运动总量不会发生改变。它可以在物体之间转移，但不会增加或者减少。今天的运动总量就是宇宙刚刚形成时的运动总量，只要宇宙继续存在，它就一直保持不变。

需要特别注意的是，在牛顿的计算中，一个方向上的运动量在加入一个相等的反方向运动量后产生的整体运动量等于零。因此，一个物体从静止状态变成运动状态并不违反牛顿第三定律，只要它的运动被反方向上的另一个物体的运动变化抵消掉，牛顿这样来表达它：

> 第三定律：任何作用力都会有一个相等的反作用力。

这个听起来很天真的句子告诉我们如果向前射出一粒子弹，枪就会往后退。如果一个溜冰的人用她的冰鞋向后蹬冰面，她就会向前移动。如果你打喷嚏，向前喷出你口中的气体，你的头就会往后飞（期刊《脊椎》里的一篇文章告诉我们，由于地球重力的缘故，头部的平均加速度是喷出气体

的3倍）。[注]如果一架宇宙飞船从它后面的火箭助推器里喷出热气，飞船将向前加速，它的动量与它向宇宙真空中喷出的热气的动量大小相等，但方向相反。

牛顿在《数学原理》中阐明的定律并不只是抽象的概念。他提供的证据让人们相信这样一个事实，那就是他阐述的为数不多的几个数学原理就可以用来解释无数真实世界里的现象。在这些应用中：他展示了重力如何影响我们看到的月球的不规律运动；他解释了大海潮汐的涨落；他计算出了声音在空气中的传播速度；他证明了岁差是地球赤道地区受到月球重力影响的结果。

PHILOSOPHIÆ

NATURALIS

PRINCIPIA

MATHEMATICA.

Autore *J S.* NEWTON, *Trin. Coll. Cantab. Soc.* Mathefeos
Profeffore *Lucafiano*, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.

S. PEPYS, *Reg. Soc.* PRÆSES.

Julii 5. 1686.

LONDINI,

Juffu *Societatis Regiæ* ac Typis *Jofephi Streater.* Proftat apud
plures Bibliopolas. *Anno* MDCLXXXVII.

《数学原理》的封面

这些都是惊人的成就，世人也的确受到了震动。但从某种意义上说，更让人印象深刻的是牛顿明白他的定律在实际应用方面存在某些限制。比如，他知道尽管他的运动定律总体说来非常接近我们所看到的发生在我们周围的现象，但它们仅仅适用于一个在任何绝对意义上都没有空气阻力和摩擦力的理想世界。

和伽利略一样，牛顿的天才很大一部分体现在他可以辨别出存在于我们实际环境中的无数纷繁芜杂的因素，并且能够剥开这些表象去揭示最基本的简明定律。

以自由落体为例：根据牛顿定律的规定，降落的物体速度会加快——但这只是最初的情况。接着，除非这个物体掉进了真空，否则它在降落时穿过的介质最终会阻止加速过程。这是因为物体越快穿过介质，它受到的阻力也就越大——因为它在每一秒碰到了更多的介质分子，也同样因为碰撞的程度更剧烈。最终，当降落的物体速度加快时，重力和介质阻力会彼此平衡，物体就不会再继续加速。

那个最高速度也就是我们今天所说的自由沉降速度。自由沉降速度和为了达到这一速度所需的降落时间由这个物体的形状、重量，以及它降落时穿过的介质的性质决定。因此，当一个物体在真空中降落时，它的速度每秒可增加每小时22英里（35.41千米）；从天空中掉落的雨滴，当它的速度达到每小时15英里（24.14千米）后就会停止加速；对于乒乓球，它的速度是每小时20英里（32.19千米）；高尔夫球是每小时90英里（144.84千米）；而一颗保龄球的速度可以达到每小时350英里（563.27千米）。

如果你张开四肢，你的极限速度大约是每小时125英里（201.17千米），或者如果你将自己蜷缩成一个紧密的球形，你的速度可以达到每小时200英里（321.87千米）。如果你从一个非常高的纬度跳下来，并且那里的空气稀薄的话，你降落的速度会比每小时761英里（1224.71千米）的音速还要快。一位奥地利的冒险家在2012年就那样做过——他从一个位于128 000英尺（39.01千米）高空的热气球上跳下来，速度达到了每小时843.6英里（1357.64千米。美国人阿兰·欧斯塔塞在2014年从一个更高的纬度跳下来，但并没有达到这么高的速度）。尽管牛顿由于对空气的性质并不十分了解而没能推导出这样的极限速度，但他在《数学原理》的第二卷里确实以理论方式展示了我在上文中描绘的自由落体。

在牛顿出生前不久，哲学家和科学家弗朗西斯·培根写道：“对于自然的研究……（取得了）极少的成功。”[注]与之形成鲜明对比的是，在牛顿逝世几十年后，既是物理学家又是神父的罗杰·博斯科维克写道：“如果知道了作用力定律，以及在任意指定瞬间各个点的位置、速度和方向”，就有可

能“预测出必定遵从它们的所有现象”。[注]能够解释这些不同时代论调发生改变的原因是牛顿强大的头脑，是他为他那个时代的主要科学谜题提供了如此精确和深奥的答案，在100年的时间里，其他人只能在他没有触碰过的研究课题里才有可能取得新的进步。

* * *

1686年5月19日，皇家学会同意发表《数学原理》，只要哈雷愿意支付印刷费用。哈雷别无选择，只得同意。学会并不是出版商。它曾在1685年冒险涉足那个行业，但被烧毁了，这期间只出版了一本名为《鱼类历史》的书，尽管名字听起来让人激动，但却没有卖出多少本。学会现在财力匮乏，甚至不能继续为哈雷提供他作为职员应得的每年50英镑的工资，他们只好用《鱼类历史》代替工资。于是哈雷接受了学会的条件。《数学原理》在第二年问世。

通过支付出版费用，哈雷自己实际上就变成了牛顿的出版人。他同时也是《数学原理》的非正式编辑和市场推广人。他把《数学原理》送给当时所有最杰出的哲学家和科学家，这本书风靡伦敦。很快，关于它的言论就传遍了整个欧洲的咖啡馆和学术圈。很明显牛顿写出了一本注定要改变人类思想的书——科学史上最具影响力的著作。

没有人做好准备来接受这本具有如此广度和深度的著作。三家欧洲大陆主要的意见期刊在评论里称赞它，其中一家说它提供了“人类能够想象出的最完美的力学”。[注]甚至伟大的启蒙哲学家约翰·洛克也“准备钻研这本书”，尽管他并不是数学家。因为所有人都意识到牛顿最终成功地推翻了古老的亚里士多德定性物理学帝国，也意识到他的著作将成为科学研究应该如何开展的模板。

如果对于《数学原理》还有什么负面反应的话，它主要来自那些抱怨说它包含的某些中心观点并非牛顿独有的人。德国哲学家和数学家戈特弗里德·威廉·莱布尼茨也曾独立发明出微积分，只是时间比牛顿稍晚了一些，他辩称牛顿试图独占功劳。他的确是这么做的：浑身是刺的牛顿相信在任何特定时代，地球上只能有一个神圣知识的解密人，在他的时代，他就是这个人。[注]同时，罗伯特·胡克将《数学原理》称为“世界形成以来自然界最重要的发现”——接着他愤恨地宣称牛顿从他那里偷走了平方反比定律的重要观点。他的话有一定的道理，因为《数学原理》的基本观点似乎就是胡克的，尽管是牛顿得出了它的数学证明。

也有一些人指责牛顿宣扬超自然现象或者“神秘力量”，因为他的重力作用力在远处也能发挥作用，承认巨大的天体通过宇宙真空去影响远处的物

体，而它们并没有明显的传导其影响力的途径。后者也让爱因斯坦迷惑不解——特别是牛顿的重力是即时传导的事实。牛顿理论在这个方面违反了爱因斯坦的狭义相对论，这个理论认为没有什么东西可以比光的传播速度更快。爱因斯坦用实际行动证明了自己的怀疑，并创造出了他的重力理论——广义相对论——它解决了这个问题并取代了牛顿的重力理论。牛顿同时代的那些人尽管批评重力在远处发挥作用这种观点，但又无法提出替代选项，只得承认牛顿成就的科学力量。

牛顿对于批评的反应和17世纪70年代早期他的光学著作遭受敌意时他做出的回应大不一样。那时，因为受到胡克和其他人的威胁，牛顿从世人眼前消失并切断了他与外界的大部分联系。现在，他的研究得出了结论，他也充分理解了自己成就的重要意义，他开始全面介入争斗。他以响亮和猛烈的回应反击那些批评家，以关于功劳的争论为例，这些反击一直持续到胡克和莱布尼茨去世——甚至在他们死后还在继续。对于神秘主义的指控，牛顿以一个免责声明来回应说：“这些原理在我看来，并不具备神秘特质……而是自然界的普遍定律……它们的真理以各种形式呈现在我们眼前，尽管它们的原因目前尚未被发现。”《数学原理》改变了牛顿的生活，不仅只是因为它被公认为学术史上一个重要的里程碑，也是因为它将他推到了公众的眼前，名望原来很适合他。他变得更爱交际了，并在接下来的20年里放下了大部分对于神学的激进努力。他对于炼金术的研究也有所节制，尽管并没有完全中断。

改变开始于1687年3月，那时牛顿刚刚完成他的伟大著作。现在的他比之前更为大胆，他参与了剑桥大学与国王詹姆斯二世之间的政治斗争。国王当时正试图让英国人改信罗马天主教，他想迫使剑桥大学给一个没有按照惯例参加考试和向英国教会宣誓的本笃会修道士颁发学位。剑桥取得了胜利，对于牛顿来说这是一个转折点。参与这次争斗使他在剑桥成为一个重要的政治人物，当剑桥大学理事会在1689年开会时，他们甚至投票选举牛顿作为他们在议会的代表。

根据传闻，牛顿并不怎么在乎他在议会里度过的年份，只有在抱怨穿堂风太凉时才开口讲话。但他的确开始爱上了伦敦，并沉浸在许多他认识的重要知识分子和金融家的羡慕之中。1696年，已经在剑桥生活了35年的牛顿放弃了大学生活，搬家了。

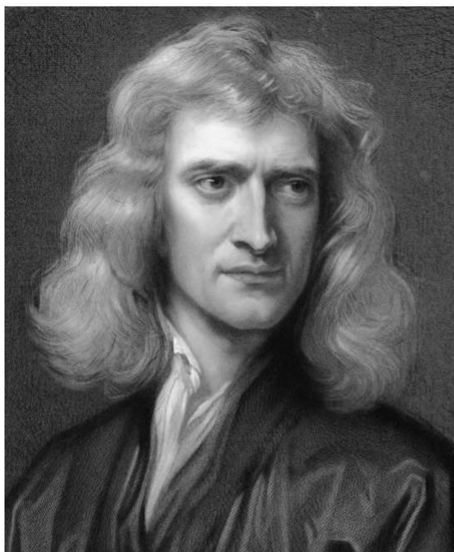
在那次转变中，牛顿从一个具有极高声望的职位转到了伦敦一个相对次要的官僚职位：铸币厂的管理员。他一直遭受伦敦蚊虫的叮咬，而且那时已经50多岁的他感到自己的智力开始衰退。并且，他对他的大学工资感到越来越不满意。或许它曾经看起来很丰厚，但作为铸币厂管理员，他的工资有一个大幅的上涨，达到了400英镑。他或许也意识到，作为英国重要的

知识分子，通过恰当的政治手腕他可以在职位有空缺时谋求到铸币厂总管这样的更高职位，他在1700年这样做了。他在新职位上的平均工资是1650英镑，大概是一个典型的手艺人工资的75倍——这个水平的薪资让他之前在剑桥大学的工资看起来的确微不足道。结果，他在接下来的27年里一直按照伦敦上层社会圈子的方式生活，他很享受这种生活。

牛顿也升到了一个曾经发表过他杰作的组织的最高层：在1703年，胡克去世后，他被选举为皇家学会的主席。然而，年龄和成功并没有使他变得平和。他以铁腕手段管理皇家学会，如果会员在会议中显露出任何“轻率或者粗鲁”的迹象，他甚至会将他们驱逐出去。注他也变得更加不愿意和人分享任何他的发现的功劳，并利用职位赋予他的权力通过各种手段报复和惩罚他人以维护自己的地位。

* * *

1726年3月23日，皇家学会在它的日志中记录道：“因艾萨克·牛顿爵士逝世，主席职位空缺，今天没有会议。”注牛顿在几天前去世，享年84岁。





青年时期和中年时期的艾萨克·牛顿

人们预料到牛顿将不久于人世已经有一段时间了，因为他遭受着一种慢性病和严重肺炎的折磨。他同时也患有许多其他只会在炼金术士身上出现的疾病，几个世纪之后通过对他头发的分析，人们发现他体内的铅、砷和锑

含量是正常水平的4倍，汞含量则是正常水平的15倍。[注]然而，牛顿的临终诊断显示他死于膀胱结石。那种疼痛是极其难以忍受的。

牛顿的命运与伽利略的命运形成了鲜明的对比。许多年来，考虑到牛顿主义科学的成功，教会对于科学新观点的反对已经不再那么强烈，意大利的天主教天文学家还获得了讲授甚至进一步发展哥白尼学说的权力——只要他们像堪萨斯的教师们被授权宣讲进化论那样不断地重复声明“它只是一个理论而已”。[注]与此同时，在英国，科学对于促进工业发展和改善人们生活条件的潜力变得越发明朗起来。科学已经逐步形成一种实验和计算的连贯文化，并发展成为一个享有巨大声望的事业，至少在上层社会是这样。并且，在牛顿的晚年，欧洲进入了一个以反对权威为文化主题的时期，不管它反对的是像亚里士多德和托勒密这样的古代权威的观点，还是宗教和君主政体这样的权威。

没有什么能比伽利略和牛顿的葬礼仪式更好地反映出他们受到的不同待遇了。伽利略只被允许举办一个安静的、私人的葬礼，他的遗体被安放在他要求被埋葬的教堂的一个不起眼的角落里，而牛顿的遗体则被安放进了威斯敏斯特大教堂，在他被埋葬在那里之后，人们为他树立起一座巨大的纪念碑，一个带有基座的石棺内安放着他的遗体。在石棺上刻有几个小男孩手执仪器的浮雕，那象征着牛顿最伟大的发现，在他的墓碑上镌刻着：[注]

这里长眠着艾萨克·牛顿爵士，他凭借近乎神圣的思考力，以及他独有的数学原理，探索了行星的轨道和形状、彗星的路径、大海的潮汐、光线的差异以及由此产生的颜色的性质，这一点别的学者之前从未设想过。他用勤奋、睿智以及忠诚诠释了自然、历史和《圣经》，他以他的哲学思想维护了全能和仁慈的上帝的威严，并通过他的举止传达了《福音书》的简朴。人类应该为他们中间曾经存过这样一个伟大的装饰物而感到欣喜！他生于1642年12月25日，殁于1726年3月20日。

牛顿和伽利略的生命加起来跨越了160多年，他们一起见证了——在许多方面占据了——被称为科学革命的大部分内容。

在漫长的职业生涯中，牛顿使用他的运动定律和他发现的作用力定律——他描述重力的定律——让我们了解到了关于我们的行星和太阳系的很多情况。但他的雄心远远超越了那些知识。他相信作用力是自然界所有变化的终极原因，从化学反应到镜子上反射的光皆是如此。并且，他确信在未来的某个时间，当我们逐渐开始了解在构成物质的微小“粒子”之间极短距离内发挥作用的吸引力或排斥力时——他对于古老的原子概念的理解——他的运动定律将足以解释人们在宇宙中观察到的一切。

时至今日，牛顿的先见之明已经显露无遗。他关于理解原子间的作用力将会意味着什么的远见完全切中要点。但那个理解还要再过250年才会出现。当它出现时，我们将发现原子所遵循的定律与他构建的物理学框架并不相符。相反，它们将为我们揭露一个超越我们感官体验的新世界，一个人类只能通过想象力才能看到的新现实，这个现实的建筑结构是如此奇异，以至于牛顿的著名定律将不得不完全被一组全新的定律所取代。对于牛顿来说，这组新定律甚至会比亚里士多德的物理学理论更加奇怪。

---

1. 1夸脱约等于1升。——编者注
2. 准确地说，是微分学。这一过程还有相反的情况：积分学。“微积分”这个表述在单独使用时通常包含了这两种情况。
3. 从技术角度上来说，由于人口增长和股票市场价格的总量是分散和不连贯的，微积分对此并不适用，但这些系统一般来说接近于连续过程。
4. Pierre Simon Laplace,*Théorie Analytique des Probabilities* (Paris: Ve.Courcier, 1812).
5. To understand Sir Isaac Newton in the context of upheaval in seventeenth-century England, see Christopher Hill,*The World Turned Upside Down:Radical Ideas During the English Revolution* (New York: Penguin History,1984), 290–97.
6. Richard S. Westfall,*Never at Rest* (Cambridge, U.K.: Cambridge UniversityPress, 1980), 863. This is*the* authoritative biography of Newton, and I haverelied on it accordingly.
7. Ming-Te Wang et al., “Not Lack of Ability but More Choice: Individual andGender Differences in Choice of Careers in Science, Technology, Engineering,and Mathematics,”*Psychological Science* 24 (May 2013): 770–75.
8. Albert Einstein, “Principles of Research,” address to the Physical Society,Berlin, in Albert Einstein,*Essays in Science* (New York: Philosophical Library,1934), 2.
9. Westfall,*Never at Rest,* ix.
10. W. H. Newton-Smith, “Science, Rationality, and Newton,” in Marcia SweetSt d ayer,e.,*Newton’s Dream* (Montreal: McGill University Press, 1988), 31.

11. Westfall,*Never at Rest,* 53.

12. Ibid., 65.

13. Ibid., 155.

14. William H. Cropper,*Great Physicists: The Life and Times of LeadingPhysicists from Galileo to Hawking* (New York: Oxford University Press,2004), 252.

15. Westfall,*Never at Rest,* 70–71, 176–79.

16. Richard Westfall,*The Life of Isaac Newton* (Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1993), 71, 77–81.

17. See the chapter “A Private Scholar & Public Servant,” in “Footprints of the Lion: Isaac Newton at Work,” Cambridge University Library — Newton Exhibition, accessed October 28, 2014, www.lib.cam .ac.uk/ exhibitions/Footprints_of_the_Lion/private_scholar.html.

18. W. H. Newton-Smith, “Science, Rationality, and Newton,” in*Newton’s Dream,* ed. Marcia Sweet Stayer (Montreal: McGill University Press, 1988),31–33.

19. Richard S. Westfall,*Never at Rest,* 321–24, 816–17.

20. Paul Strathern,*Mendeleev’s Dream* (New York: Berkley Books, 2000), 32.

21. Westfall,*Never at Rest,* 368.

22. I wrote a memoir about that period in my life; see Leonard Mlodinow,*Feynman’s Rainbow: A Search for Beauty in Physics and in Life* (New York:Vintage, 2011).

23. Newton-Smith, “Science, Rationality, and Newton,” 32–33.

24. Westfall,*Never at Rest,* 407.

25. Ibid., 405.

26. Richard Westfall,*Force in Newton’s Physics* (New York: MacDonald, 1971),463.

27. As measured in “Parisian feet,” which are 1.0568 of the usual feet.

28. Robert S. Westfall, “Newton and the Fudge Factor,”*Science* 179

(February 23, 1973): 751–58.

29. Murray Allen et al., “The Accelerations of Daily Living,”*Spine* (November 1994): 1285–90.

30. Francis Bacon,*The New Organon: The First Book,* in*The Works of Francis Bacon,* ed. James Spedding and Robert Leslie Ellis (London: Longman,1857–70), accessed November 7, 2014, http://www.bartleby .com/242/.

31. R. J. Boscovich,*Theiria Philosophiae Naturalis* (Venice, 1763), reprinted as*A Theory of Natural Philosophy* (Chicago: Open Court Publishing, 1922), 281.

32. Westfall,*Life of Isaac Newton,* 193.

33. Michael White,*Rivals: Conflict as the Fuel of Science* (London: Vintage,2002), 40–45.

34. Ibid.

35. Westfall,*Never at Rest,* 645.

36. Daniel Boorstin,*The Discoverers* (New York: Vintage, 1983), 411.

37. Westfall,*Never at Rest,* 870.

38. John Emsley,*The Elements of Murder: A History of Poison* (Oxford: OxfordUniversity Press, 2006), 14.

39. J. L. Heilbron,*Galileo* (Oxford: Oxford University Press, 2010), 360.

40. “Sir Isaac Newton,” Westminster Abbey, accessed October 28, 2014, www.westminster-abbey.org/our-history/people /sir-isaac-newton.

8.物质的构成

十来岁的时候，我发现自己对两种完全不同的探索宇宙奥秘的科学方法非常着迷。我不断地听到关于物理学家做过什么的奇怪传闻，以及他们所发现的物理学量子定律，按这个定律推测，我可以同时身处两个不同的地方。我很怀疑这样的论断在现实生活中是否适用，何况我并没有太多自己想去的地方。但我同样听说了化学家所追求的那种更实际的奥秘，尽管那种奥秘既剧烈又危险，看起来也不像一把能把我送进大学的万能钥匙，但它却激发了我的冒险精神，并许诺赋予我一种小孩通常不具备的超能力。很快我就开始把氨水和碘酒、高氯酸钾和糖、锌粉和硝酸盐以及氯化氨混合在一起，我可以把东西炸飞。阿基米德说只要给他一根足够长的杠杆，他就能撬动地球；我相信只要给我合适的家用化学品，我就可以让它爆炸。这就是了解了你周围物质之后获得的力量。

世界上第一批科学思想家为探究物理世界运作机制的这两种方式铺平了道路。他们询问变化的原因；他们研究物质的成分以及它们的成分如何决定它们的性质。最后，亚里士多德为双方提供了一张路线图，但他提供的路径最后被证明是死胡同。

牛顿和他的前辈们为了理解变化这个问题走过了很长一段路。牛顿也尝试过去了解物质的科学，但他并没有成为一个像他在物理学领域那样成功的化学家。问题并不在于他的智力不足，也不在于他走上了一条漫长的、最终是个死胡同的炼金术道路。他没有取得进展的原因是，尽管物质的科学，即化学，和变化的科学，即物理学，是并肩发展的，但它们却是两门个性大不相同的科学。化学的条件更恶劣，也更复杂，如果想像他曾经探索变化的那样对它进行详细的探索必须要有大量的技术创新的出现，但其中大部分在牛顿的时代都还没有被发明出来。结果，牛顿陷入了困境，并且在化学领域缺少一个可以让化学（以及他/她自己）突飞猛进的杰出人物。所以，它的发展速度更缓慢，只有寥寥数位先驱分享它的荣耀。

人类如何发现物质构成的故事是我的挚爱，因为化学就是我的初恋。我小时候生活在芝加哥一个小型双层公寓里，生活区狭窄而且拥挤，但地下室却很大，我把我的设备都搬到这里，修建了一个属于自己的迪士尼乐园——一个精心打造的实验室，架子上摆满了玻璃器皿、各种颜色的粉末，以及装满强酸和强碱的瓶瓶罐罐。

我不得不通过非法渠道或者我父母毫不知情的协助（“如果我有一加仑盐酸就好了，我就可以把猫撒在水泥地板上的尿抹干净”）来获得某些化学

物品。这些小伎俩并没有引起麻烦。我发现通过研究化学，我在满足内心深处对于世界的好奇心的同时还能学会制造炫酷的焰火。和牛顿一样，我这么猜的，我也意识到这比社交生活的好处多多了。化学物品可比朋友更容易获得，当我想和它们一起玩时，它们从来不会说它们必须待在家里洗头发，或者不太礼貌地说它们不喜欢和怪胎厮混在一起。然而就和许多初恋一样，我最终还是和化学分手了。我开始和一个新对象，也就是物理眉来眼去。正是在那个时候我开始了解到科学的不同领域不仅专注于不同的问题，也拥有不同的文化。

物理和化学之间的差别在我犯下的各种错误中展露无遗。比如，我很快就了解到假如我的物理运算最终归结为“4＝28”这样一个等式时，并不意味着我发现了一些意义深远且不为人知的真理，相反，我只是犯了某种错误。但这个错误没有什么害处，它只是一个存在于纸面上的错误。在物理学中，这样的小错误几乎不可避免地会导致尽管让人沮丧但却无害的数学废话。化学就不同了。我在化学中犯的错误往往会制造大量的浓烟和火情，以及被强酸腐蚀的疼痛，它们留下的疤痕几十年都没有消退。

我父亲是根据他认识的两个人来描述物理和化学之间的差异的。这两个人从事的工作和它们最为接近。他所说的“物理学家”——实际上是数学家——是在集中营里向他解释如何解答那道数学难题来换取面包的那个人。而那个他称为“化学家”的人是他在被驱逐到布痕瓦尔德集中营之前在犹太人地下党里认识的。

我父亲曾经加入过一个计划破坏通往他家乡琴斯托霍瓦的铁路的组织。这位化学家说他可以用一包安放在铁轨关键位置上的炸药来让火车出轨，但他必须得从犹太人居住区偷偷溜出去才能得到他需要的部分原材料，他坚持认为他可以通过行贿和盗窃来获取这些东西。这要跑好多次才能完成，但他执行最后一次任务时再没回来，此后也再没有听到过他的消息。

我父亲告诉我，那个物理学家是一个优雅、安静的人，他用他知道的最好的办法来躲避集中营里的恐怖：退回到他的思想世界中。那位化学家拥有狂热梦想家和牛仔般的性格，他热衷于采取实际行动来正面对抗世界的混乱。我父亲断定那就是化学家和物理学家之间的区别。

这些话完全正确，和早期的物理学家不同的是，早期的化学家必须具备一定的血气之勇，因为他们的工作会发生意外爆炸，他们也有中毒的可能，因为他们经常品尝物质，通过味道来帮助他们识别这些物质。早期的实验家中最著名的或许是瑞士药剂师和化学家卡尔·史基。史基是第一个制造出具有强腐蚀性和毒性的氯气还能活下来的化学家，比较神奇的是，他居然还能准确地描述出剧毒气体氰化氢的味道而没有被毒死。但在1786年，

43岁的史基死于一种疑似急性汞中毒的疾病。[注]

从更私人的层面上说，化学家和物理学之间的差别给我的感觉就像是我父亲和我之间的差别。因为在那个化学家消失以后，他和其他4个密谋者继续展开他们的计划，使用仅有的手工工具——“各种型号的螺丝刀”（他告诉我）——而不是炸药，试图拧松铁轨。[注]他们的行动出了岔子，其中一个破坏分子恐慌起来，引起了附近纳粹党卫军军官的注意。结果，只有我父亲和另一个破坏分子成功逃脱了——他们躺在铁轨上面，一列长长的货运列车从他们上面开过去，这才没有被发现。从另一方面来讲，我很少会在外部世界采取任何有重要意义的实际行动，只会使用公式和纸来计算事情的后果。

物理和化学之间的差距反映出了这两个领域的渊源和文化。物理开始于泰勒斯、毕达哥拉斯和亚里士多德头脑中的理论，而化学则诞生在商人的密室和炼金术士阴暗的小屋里。尽管这两个领域的从业者都受到纯粹的求知欲望的激励，但化学同时还扎根于实际——有时候是出于改善人们生活条件的渴望，有时候则出于贪婪。化学具有一种高贵的品质，一种求知和征服物质的高贵品质，但它也一直具备获得巨大收益的潜力。

* * *

从某种意义上说，牛顿发现的三条运动定律是比较简单的，尽管它们掩藏在由摩擦力和空气阻力的迷雾以及重力的隐形外衣构成的普通表象之下。然而，统治化学的定律和牛顿的三条运动普遍定律并不相似。它们要复杂得多，因为我们的世界给我们提供了一系列使人眼花缭乱的物质构成，化学科学必须逐步将它们全部厘清。

人类的第一个发现是某些物质——元素——是基本的，而其他的物质是由这些元素的不同组合构成的。这是希腊人通过直觉辨别的。比如，根据亚里士多德的说法，元素是“其他物质分解之后产生的物质，它本身不能再被分解成其他物质”。[注]他提出了四种元素：土、气、水、火。

很明显许多物质都是由其他物质构成的：盐和淡水可以制造出咸水，铁在水里会生锈，伏特加和苦艾酒可以调配出一杯马提尼酒。而另一方面，你可以通过加热来分解出许多物质的成分。比如，当石灰石被加热时，它就变成了石灰和一种气体，二氧化碳。糖在加热时会产生碳和水。然而，这种幼稚的观察并不能让你走得太远，因为这无法对发生的现象做一种普遍适用的描述。比如，如果你对水进行加热，它会变成气体，但那种气体和液态水在化学成分上并没有什么不同，只不过呈现出了一种不同的物理形态而已。当水银被加热时，也不会分解出它的成分；相反，它会倒过来

——它与空气中看不见的氧气结合形成一种被称为烧渣的化合物。

还有燃烧。以木头的燃烧为例。当木头燃烧时，它变成了火和灰，但如果你就此推断说木头是由火和灰构成的，那就大错特错了。并且，和亚里士多德的分类相反的是，火并不是一种物质，而是其他物质在经历化学反应时释放出的光和热。木头在燃烧时释放出的真正物质是不可见气体——主要是二氧化碳和水蒸气，但总共有超过100种气体——古人并没有任何技术手段可以允许他们收集这些气体，更不用说将它们逐一分离和识别了。注

这种挑战使人们很难区分什么物体是由两种或者更多的物质构成的，而什么物体又是由基本元素构成的。这样的困惑导致的结果就是许多古人，比如亚里士多德，在错误地把水、火等视为基本元素的同时，却没能将七种金属元素视为元素——汞、铜、铁、铅、锡、金以及银——这些都是他们很熟悉的物质。

就像物理学的诞生依靠的是新数学的发明一样，真正意义上的化学的诞生不得不等待某种技术发明——可以精确测量物质重量的仪器，可以测量在化学反应中吸收或释放出的热量的仪器，可以确定一种物质是酸性还是碱性的仪器，可以捕捉、抽空和操纵气体的仪器，可以测量温度和压力的仪器。只有取得这样的进步，17世纪和18世纪里的化学家才有可能理清他们知识的乱麻，并发展出富有成果的思考化学反应的方式。然而，即使在这样的技术进步尚未出现之前，从古代城市中涌现出的那些从事这些行业的人就已经在许多完全不同的领域，比如印染、香水制造、玻璃制造、冶金和防腐技术积累了大量的知识，这是对人类毅力的一种证明。

* * *

防腐技术是最早出现的，在那个领域，化学科学的开端可以一直追溯至恰塔霍裕克，因为尽管他们并不对死者进行防腐处理，但他们的确形成了一种死亡文化，并以一种特别的方式表达对死者的关爱。到了古埃及时代，对于死者命运不断增加的担忧推动了木乃伊制作技术的出现。人们相信这种技术就是打开幸福来世之门的钥匙——当然也不可能会有气愤的客户回来投诉说他们过得并不幸福。于是对防腐剂的需求出现了。一个新行业诞生了，一个寻求——借用杜邦（DuPont）注的话——“化学，更好的东西为更好的来世”（Better things for a better after life，though chemistry）的行业。

这个世界总是不缺乏梦想家，他们当中，那些成功实现了梦想的人是幸福的，而另一些至少也依靠追逐梦想维持了生计。那些属于后一群体的人并

非一定要按照天赋和知识来加以判别，但他们必然会因为他们工作的勤奋程度而高下立现。通过完善防腐流程而变得富有一定是古埃及企业家和创新家们的一个梦想吧，因为他们投入了漫长的时间来艰难地尝试着做这件事。随着时间的推移，在经过广泛的试验和试错之后，古埃及防腐师最终成功地学会了利用钠盐、树脂、没药以及其他防腐剂的有效组合来阻止尸体腐烂——这些都是在对涉及的化学过程以及尸体腐烂的原因一无所知的情况下发现的。

既然尸体防腐是一门生意，而非科学，因此它的发现并没有被当成是古代的爱因斯坦们发明的理论，却更像是爱因斯坦兄弟牌百吉饼的秘方：它们是严加守卫的秘密。并且，因为尸体防腐和死人以及地狱有关，这项技艺的从业人员开始被人们视为巫师和魔法师。随着时间的推移，其他带有神秘色彩的职业也开始出现，并产生了关于矿物、油脂、花卉萃取物、植物荚果和根茎、玻璃以及金属的知识。这些生意人从事的原始化学正是炼金术神秘主义文化的起源。

作为一个群体，这些领域的从业者广泛地构建了一套专业但彼此互不关联的职业技能。当希腊的亚历山大大帝于公元前331年在尼罗河河口建立他的埃及首都亚历山大港时，那些五花八门的技术诀窍最终开始定型成一个统一的研究领域。

亚历山大港是一座巨大的城市，有着典雅的建筑和100英尺宽的大街。在它被建成几十年后，埃及的希腊国王托勒密二世修建了它文化皇冠上的珠宝，博物馆。这座博物馆和现代博物馆的不同之处在于它并不展示文物，而是珍藏着100多位科学家和学者，他们由国家提供俸禄，有免费的房子居住，博物馆的厨房还为他们提供食物。和它相关联的是一座藏有50万册卷轴的宏大图书馆、一座天文观测台、解剖实验室、花园、动物园以及其他供调查研究使用的设施。这是一个光辉的探索知识的中心，一座人类求知之路上鲜活的、实用的纪念碑。它是世界上第一所研究机构，其扮演的角色和后来大学在欧洲的发展中扮演的角色一样，然而，悲哀的是它注定会被公元3世纪的一场大火焚毁。

亚历山大港很快就变成了一个文化的麦加圣地，在几个世纪的时间里，它一直都是世界上面积最大，也最伟大的城市。在这里，各种关于物质和变化的希腊理论与整个埃及的化学知识体系相互交融。观点的交汇改变了一切。

在希腊人入侵之前，埃及人关于物质性质的知识几千年来一直都是纯粹的实用性的。但现在希腊物理学的理论体系为埃及人的知识提供了一个理论背景。特别是，亚里士多德关于物质的理论为物质变化和相互作用的方式

提供了一种解释。当然，亚里士多德的理论并不正确，但它启发了一种更统一的探索物质科学的方法。

亚里士多德理论的一个方面尤其具有影响力：他关于物质转化的观点。以烧水的过程为例。亚里士多德认为水元素拥有两种重要特质：可以变湿和变冷。而另一方面，他把气元素描绘成可以变湿和变热。按照他的观点，烧水就是一个火元素发挥作用将水的冷转变成热的过程，因此也就把水转化成了气。从这种概念中嗅到获利潜力的埃及人试图把它发挥到极致：如果水可以转化成气，那有没有可能把某些不重要的东西转化成黄金呢？这有点儿像我的女儿奥莉维亚。当她被告知如果她把她的牙齿放在枕头下面她就可以从牙仙那里得到一美元时，马上回答说："如果放剪下来的指甲我能得到多少钱呢？"

埃及人注意到黄金和亚里士多德所说的基本元素一样，似乎也拥有某种基本特质：它是金属，很柔软，是黄色的。单是黄金就具备所有那些特质，但它们又以不同组合出现在许多物质中。人们可不可以找到一种在物质间转移性质的方法呢？特别是，如果烧水的过程允许人们使用火来改变水的物理特质，从而将其转变成气，那么或许会有一种类似的过程可以把一种柔软的、黄色的金属物质转化成黄金。

这样的考虑产生的结果是，到了公元前200年，理解真正化学的线索与希腊哲学思想混合在一起，防腐术、冶金术以及其他实际尝试这样古老的原始化学刺激了一种统一的探索化学变化方法的出现。炼金术就此诞生，它以制造黄金为中心目标，发展到最后它甚至试图制造一种使人永葆青春的"长生不老药"。

历史学家对于化学科学出现的具体时间争论不休，但化学不是苜蓿，所以它萌发的日期更多的只是一种意见，而不是一个精确的事实。然而，有一样东西没有人可以争辩，那就是炼金术起到的作用：无论化学何时形成了现代形态，它都是一门从那个古老主题的技艺和神秘主义中成长出来的科学。

* * *

第一个推动巫术式的炼金术向着科学方法发展的人是人类思想史上一个比较怪异的人物。泰奥弗拉斯托斯·邦姆巴斯特·凡·霍恩海姆（1493—1541）出生在现今瑞士的一个小村庄里，他在21岁时被他父亲送去学习冶金术和炼金术，但他后来声称自己获得了医学学位，而且他也选择了那个职业。接下来，在他还不到25岁的时候，他把自己的名字改成了帕拉塞尔苏斯，意思是"比塞尔苏斯更伟大"。塞尔苏斯是公元1世纪的一位罗马医师。因为在16世纪时塞尔苏斯的著作非常受欢迎，通过改名字，帕拉塞尔苏斯设

法让自己从一个名叫邦姆巴斯特的人变成一个名字中展示出那种品质的人。但比起邦姆巴斯特这个名字，帕拉塞尔苏斯还有更多想要改变的东西：他大肆宣扬他对于盛行的研究医学的方法的轻蔑。当他参加学生们传统的夏季篝火晚会时，他把受人敬仰的希腊医师盖伦的医学著作连同一把硫黄一起扔进了火堆，他以这种方式来生动地展现他的不屑。

帕拉塞尔苏斯对盖伦的不满和伽利略以及牛顿对亚里士多德的不满如出一辙：盖伦的著作被后来的从业者的观察和经验证明是错误的。特别是，传统观念认为疾病是由一种被称为休谟斯的神秘体液的失衡引起的，而帕拉塞尔苏斯却相信这种观点并不能经得起时间的考验。相反，他确信疾病是由体外因素引起的——并且这种病因可以通过使用适当的药物来治疗。



帕拉塞尔苏斯，原版是佛兰德艺术家昆丁·马西斯(1466—1529)的作品，现已失传，此图是17世纪的一幅临摹品

正是对那些“适当的药物”的探求引导帕拉塞尔苏斯尝试着去改变炼金术。这个领域现在硕果累累，比如新物质的发现——金属盐、无机酸，以及酒精——但帕拉塞尔苏斯想让它放弃对于黄金的追寻，转而专注于更重要的目标，比如制造在团体实验室拥有一席之地，可以治愈特定疾病的化学物品。同样重要的是，帕拉塞尔苏斯的目标是去改良炼金术不精确和不严谨的方法。作为商人和学者，他为新版本的炼金术发明了一个新名字。通过用希腊语中表示“药物”的单词*iatro*替代阿拉伯语字首*al*（意为“这个”），他创造了*iatrochemia*（化学疗法）这个表述。这个单词很拗口，这或许也是为什么它很快被改写成更简短的“*chemia*”，这个词后来演变成英语单词“chemistry”（化学）的词根。

帕拉塞尔苏斯的观点后来对伟大的艾萨克·牛顿和牛顿的对手莱布尼茨产生了同样的影响，他们将带领炼金术朝着化学科学这个新身份发展。但尽管帕拉塞尔苏斯对他的新方法抱有极大的热情，但他的个人说服力却因性格问题而大打折扣。他相当具有攻击性——当我说“攻击性”时，我指的是“他的行为举止就像一个狂躁的精神病患者”。

帕拉塞尔苏斯没有胡子，女里女气，对于性爱也没有兴趣，但假如奥林匹克运动会为酗酒这项运动颁奖的话，帕拉塞尔苏斯一定会得到白金奖牌。他大部分的时间都是醉醺醺的，曾被一个同时代的人说“活得像头猪”。他并不精于宣传自己，并且很容易会说出“所有的大学老师和所有的老作家放在一起也不如我的屁股那样有天赋”这样的话。注他似乎很享受激怒权威人士，有时候就以此作为目的。比如，当他被巴塞尔大学任命为讲师时，他穿着一件皮质的实验室围裙就来上他的第一堂课，而不是穿标准的学术长袍；他讲瑞士德语，而不是预期的拉丁语；并且，在宣布他即将揭示医学领域最大的秘密之后，他亮出的是一锅粪便。

这些怪异行为产生的效果和它们在今天会产生的效果一样：他的医师和大学同事和他很疏远，但他却很受大部分学生的欢迎。尽管如此，当帕拉塞尔苏斯讲话时，人们都会认真听，因为他的一些药物确实有效果。比如，在发现阿片剂和溶于水相比更溶于酒精之后，他发明出了一种基于阿片的溶液，他将其称为阿片酊，这种溶液对缓解疼痛非常有效。

然而，经济原因或许是最终促进帕拉塞尔苏斯的观点传播的最好引擎。新化学药物可以治愈疾病的希望增加了收入、社会地位以及药剂师的名声，它也创造了对于这个领域知识的需求。关于这个主题的教科书和课程开始涌现，并且随着炼金术的术语和技术被翻译成化学的新语言，它们变得更加精确和规范，正如帕拉塞尔苏斯曾经希望的那样。到17世纪初期，尽管还有很多人依然从事着古老的炼金术，但帕拉塞尔苏斯的新式炼金术——chemia——也渐渐流行开来。

和墨顿学院的数学学者一样，帕拉塞尔苏斯是一个过渡性的人物，他帮助他的研究主题完成了转变，并为后来的从业者打下一个他们可以继续发展的原始基础。帕拉塞尔苏斯在旧世界化学和新世界化学的涉猎范围从他的个人生活中一览无余：尽管他对传统的炼金术持批评态度，但他却涉足其中。他一生都在从事以制造黄金为目标的实验，有一次甚至宣称他发现并饮下了长生不老药，他必定会长生不老。

唉，在1541年9月，当帕拉塞尔苏斯在奥地利的萨尔兹堡一家名叫白马客栈的旅馆暂住时，上帝向他摊牌了。帕拉塞尔苏斯一天晚上正沿着一条阴暗狭窄的街道回旅馆时，他要么是狠狠地跌了一跤，要么是被被他激怒的

当地医师雇的恶棍狠狠地揍了一顿——取决于你愿意相信哪个版本。两个故事都有着同样的结局：帕拉塞尔苏斯因伤势过重几天后去世，享年47岁。据说在他临死之前，他看起来比他的实际年龄大很多，这是长期熬夜和酗酒导致的结果。假如他还能再活一年半的话，他或许会目睹哥白尼伟大著作《天体运行论》的出版，这本书通常被认为是科学革命的起点，帕拉塞尔苏斯当然会支持这样的运动的。

* * *

正如我们看到的那样，在帕拉塞尔苏斯去世后的一个半世纪里，像开普勒、伽利略以及牛顿这样的先驱，在前人工作的基础上，创造了研究天文学和物理学的新方法。随着时间的推移，由形而上学原理控制的定性的宇宙理论让位于遵循固定定律的可量化和可测量的宇宙概念。依靠权威学者和形而上学的辩论来获取知识的途径被通过观察和实验来了解自然定律，并通过数学语言来清晰地表达这些定律的概念所取代。

和物理学一样，新一代的化学家所要面对的学术挑战不仅仅是发明出严谨的思考方法和实验方法，还要摆脱过去的哲学和观点的束缚。为了变成一门成熟的科学，化学这个新领域不得不在学习帕拉塞尔苏斯的课程的同时还要废黜已经走进死胡同的亚里士多德理论——并非他关于运动的理论，废黜其运动理论的事牛顿和其他物理学家以及数学家已经在做了，而是他关于物质的理论。

在解决一道难题之前，你必须要辨认出它的各个部分，而在物质的性质这道谜题中，这些部分就是化学元素。只要人们还相信所有的物质都是由土、气、火和水构成的——或者一些类似的分类体系——他们对于物质主体的理解就是建立在谎言之上的，他们创造新的、有用的化学物质的能力只是在试验和试错而已，根本不会有形成真正理解的可能。一切都是从17世纪新的学术氛围中开始的，当伽利略和牛顿最终将亚里士多德驱逐出物理学领域，并用基于观测和实验的理论取代了他的观点时，有一个人站了出来——他在光学领域的工作曾启发过牛顿——将亚里士多德从化学领域中赶了出去。我说的这个人就是罗伯特·玻意耳，第一任科克伯爵之子。注

要想把自己的一生奉献给科学，一条路是获得大学任命，而另一条就是你得富得流油。和开创物理学的大学教授不同，许多早期化学的拥护者都是有个人收入的人，在实验室还很稀缺的时代，他们就有足够的财力去建造自己的实验室。罗伯特·玻意耳的父亲不仅只是有钱，他或许是大英帝国最有钱的人。

人们对于玻意耳的母亲知之甚少，只知道她在17岁结婚并在随后的23年里陆续生育了15名子女，最后因肺痨猝死，这在当时一定是一种解脱吧。罗伯特是她的第14个孩子，也是第7个儿子。这位伯爵似乎喜欢生小孩胜过养小孩，因为孩子在出生后不久就被送去让乳母照料，接着去上寄宿学校和大学，或者去国外接受私人教师的教育。

玻意耳在日内瓦度过的时光对他影响至深。在14岁那年，他在某天晚上被剧烈的雷暴惊醒，他发誓说如果他能活下来，他将把自己献给上帝。如果每个人都能遵守甚至依然还记得他们在迫不得已的情况下所发的誓言，这个世界将会变得更好，但当玻意耳发出誓言后，那个誓言一直伴随着他。无论雷暴是否是真正的起因，玻意耳对于宗教变得非常虔诚，尽管他拥有巨大的财富，他却过着苦行僧般的生活。

在那场改变生命的暴风雨之后的一年，当玻意耳正在佛罗伦萨进行访问时，流放中的伽利略在附近某个地方去世。不知怎么的玻意耳就得到了一本伽利略关于哥白尼学说的书，他的《关于两大世界体系的对话》。这在人类思想史上是一个偶然但却不可忽视的事件，因为在读过这本书后，当时只有15岁的玻意耳爱上了科学。注

没有任何历史记录可以清楚地显示玻意耳为何会选择化学，但自他皈依上帝之后，他一直都在寻找一种可以侍奉上帝的恰当方式，于是他决定就是它了。和牛顿以及帕拉塞尔苏斯一样，他也是独身主义者，他对自己的工作非常痴迷，他和牛顿一样相信理解自然之道的努力是一条通往上帝之道的途径。但和作为物理学家的牛顿不同的是，作为化学家的玻意耳还认为科学之所以重要，是因为它可以被用来缓解痛苦并改善人们的生活。

从某种意义上说，玻意耳能成为科学家是因为他是一个慈善家。在1656年，29岁的他搬到了牛津居住，尽管牛津大学当时并没有开设正式的化学课程，他却自费建造了一个实验室并全身心地投入到研究中——大部分是化学，但也不全是。

在英国内战期间，牛津曾是保皇党的一个大本营，也是许多从伦敦逃离的议会党人的栖身之地。玻意耳似乎对任何一方都没有强烈的同情，但他却加入了一个难民团体，他们每周都会见面并探讨他们对于使用新的实验方法来研究科学的共同兴趣。在1662年，查理二世在重新恢复君主政体之后不久给这个团体颁发了一个特许状，它从此成为皇家学会（或者，更准确地说，伦敦皇家自然知识促进学会），这个学会在牛顿的职业生涯中扮演过非常重要的角色。

皇家学会很快就汇集了很多当时伟大的科学家——包括牛顿、胡克，以及哈雷——他们聚在一起研究、辩论和批评彼此的观点，以及支持那些观点

并确保它们在世界上有一席之地。学会的会训是*Nullius in verba*，大意是“不要把任何人的话当作真理，但它尤其指的是“别把亚里士多德的话当作真理——因为会员们都明白要想取得进步，超越亚里士多德学派的世界观至关重要。

玻意耳也把怀疑主义当成自己的座右铭，他在1661年发表的《怀疑派化学家》的书名就反映出了这一点，这本书在很大程度上是对亚里士多德的抨击。对于玻意耳来说，他和他的同行们一样都意识到要想用科学的严谨帮助理解他的研究主题，他将不得不抵制大部分过去的观点。化学或许曾根植于防腐师、玻璃制造商、染料制造商、冶金学家、炼金术士，以及自帕拉塞尔苏斯之后出现的药剂师的实验室中，但在玻意耳的眼中，它是一个值得研究的统一领域，和天文学以及物理学一样都是对自然世界的基本理解，值得使用缜密的思考方法去探索。

在书中，玻意耳提供了一个又一个化学变化的例子来驳斥亚里士多德关于元素的观点。比如，他详尽地论述了木头燃烧产生灰烬的过程。玻意耳观察到，在烧一根圆木时，从木头两端煮出来的水“根本就不是水元素”，冒出的烟也“根本不是气”，相反，这些烟在经过蒸馏后产生的是油脂和盐分。注 因此，火将圆木转变为基本元素——土、气和水——的说法也就经不起推敲。同时，像金和银这样的其他物质似乎也不可能分解出更简单的成分，因此它们或许应当被认定为元素。

玻意耳的伟大工作以抨击气是一种元素的观点开始。他通过实验来支持他的论点。在这些实验中，他得到了一个脾气暴躁的年轻助理的协助，这个人名叫罗伯特·胡克，是牛津大学的研究生，激进的保皇党人。可怜的胡克后来不但被牛顿看不起，在许多文史资料中，他也没能从他和玻意耳展开的实验中获得多少功劳，尽管很有可能是他制作了所有的实验器材并完成了绝大部分的工作。注

在其中一项系列实验中，他们试图通过探索呼吸来理解我们的肺是如何与我们吸进去的空气互相作用的。他们估计一定发生了某种重要的事情。毕竟，如果没有发生某种相互作用，那我们的呼吸要么是浪费了大量的时间，要么就是——对某些人来说——一种让肺忙着抽雪茄的方式。为了调查这种情况，他们在老鼠和鸟类等动物身上展开了呼吸实验。他们观察到在动物被放进一个密封的容器后，它们的呼吸会变得吃力起来，直到最后停止呼吸。

玻意耳的实验展示了什么呢？最明显的教训就是如果你有宠物的话，你不会想让罗伯特·玻意耳帮忙看房子。但实验表明，在动物呼吸时，它们要么是在吸收空气中的某些成分，这种成分如果用光就会导致死亡，要么就是

在排出某些气体，这些气体的浓度如果足够高的话，也将是致命的，或者两种情况都有。玻意耳认为是前一种情况，但不管是哪种，他的实验表明空气不是元素，而是由不同成分构成的。

玻意耳也使用胡克近期发明的、有了很大改进的真空泵研究空气在燃烧中起到的作用。他观察到，一旦真空泵把装有燃烧物体的密封容器中的空气全部吸走，火就会熄灭。于是玻意耳推论说在空气中存在某种燃烧和呼吸过程必需的未知物质。

识别元素的研究是玻意耳工作的重心。他清楚亚里士多德和他的追随者是错的，但是，考虑到他所能获得的资源的有限性，在他能用更准确的观点来取代亚里士多德的观点之前他只能取得不完整的进步。尽管如此，能够证明空气是由不同成分构成的气体就足以有效地打击亚里士多德的理论，就跟伽利略观察到月球上有山丘和陨石坑、木星拥有卫星对亚里士多德理论产生的冲击效果一样。通过这样的工作，玻意耳用更谨慎的实验和观察取代了过去的传统智慧，帮助新生的科学从亚里士多德的观点中解放了出来。

* * *

在对空气进行化学研究时有一样东西尤其具有意义。我们明白了硝石或者水银氧化物并不能使我们对自身有所了解，但空气却给了我们生命。然而在玻意耳之前，空气从来都不是一种热门的研究物质。因为研究气体很困难，并且受到技术条件的极大限制。这一状况直到18世纪晚期才得以改变，像集气槽这样的新实验室设备的出现才使人们具备了收集化学反应中产生的气体的能力。注

然而不幸的是，因为发生化学反应时经常会有不可见的气体被吸收或者释放，在不了解气体状态的情况下，化学家分析许多重要的化学过程时——特别是燃烧——会得出不完整甚至是带有误导性的结论。为了让化学真正地摆脱中世纪的影响，这种情况必须改变——火的性质必须被理解。

在玻意耳之后的一个世纪，燃烧必需的气体——氧气——终于被发现了。然而发现氧气的这个人的房子却在1791年被一个愤怒的暴徒烧毁了，这不得不说是一种历史的讽刺。激怒暴徒的原因是这个人支持美国和法国革命。由于这种争议，约瑟夫·普里斯特利（1733—1804）在1794年离开他的祖国英国去了美国。注

普里斯特利信仰唯一神论，同时也是一位著名的宗教自由的热情拥护者。他以牧师的身份开始他的职业生涯，但在1761年却成为一个新教学院的现

代语教师。这所学院为那些反对英国教会的人扮演着大学一般的角色。在那里，他受到一位同事教学内容的启发，撰写了电学这门新科学的历史。他对这个课题的研究引导着他展开了最初的实验。

普里斯特利和玻意耳鲜明的人生和社会背景差别反映出了他们所处时代的差别。玻意耳在启蒙运动开始时去世，西方思想和文化史上的这段时期大约从1685年持续到1815年。而普里斯特利工作在那个时代的巅峰时期。

启蒙运动是一个科学和社会发生剧变的时代。按照伊曼努尔·康德的说法，这个表述本身代表着“人类从他们自我招致的不成熟中脱离”。注 康德关于启蒙运动的箴言很简单：*Sapere aude*——“勇于求知”。确实如此，启蒙运动的特别之处在于它对科学进步的欣赏，对挑战旧有教条的热情，以及对理性将打败盲目信仰并将带来实际社会福利的原则的坚持。

同样重要的是，在玻意耳的时代（以及牛顿的时代），科学只是少数几个精英思想家的领域。但到了18世纪，工业时代的苗头开始出现，中产阶级的地位持续上升，而贵族的统治力却不断减弱。结果，到18世纪下半叶，科学已经成为一个相对较大的受教育阶层的关切，这一群体的成员更多元，其中也包括了中产阶级，他们中的很多人把学习当作是一种提高自己经济地位的途径。化学尤其从这个新的、基础更广泛的从业者群体——像普里斯特利这样的人——以及他们带来的发明家和企业家精神中获益匪浅。

普里斯特利关于电学的书在1767年面世，但在同一年，他的兴趣从物理学转向了化学，尤其是气体。他改变研究领域不是因为他对于那门科学有任何深刻的见解，或者他恰好相信它是一个更重要的研究领域。相反，他之前搬到了一家酿酒厂的隔壁居住。在这个地方，木桶中的发酵物在发酵时会剧烈地冒出大量的气体，这种现象激起了他的好奇心。他收集了大量的这种气体，并且在和玻意耳类似的实验中，他发现如果在一个装满这种气体的密封容器中放入燃烧的木屑，火就会熄灭，而把老鼠放进这样一个容器中它很快就会死掉。他同样注意到如果将它溶解于水中，就会形成一种充满气泡的液体，口感很好。今天我们知道这种气体是二氧化碳。普里斯特利在不经意间发明出一种制作碳酸饮料的方法，但是，唉，因为他并不是一个有雄厚资本的人，他没能把他的发明商业化。几年后一个名叫约翰·雅各布·史威士的人将其商业化，他的苏打水公司至今还在经营。

普里斯特利当时应该利用他对化学的迷恋创造一个商业副产品，这是适宜的，因为随着18世纪晚期工业革命的到来，我们发现科学和工业可以互相促进来取得前所未有的伟大成就。在之前的世纪里，伟大的科学进步并没有立即产生多少实际用途，但开始于18世纪晚期的进步却完全改变了人们

的日常生活。科学和工业合作所产生的直接结果包括蒸汽机的发明、工厂在利用水力方面的技术进步、机械工具的发展，以及后来铁路、电报、电话、电，以及电灯泡的出现。

在1760年左右，处于发展初期的工业革命依靠的只是技工发明家的贡献，而非新科学原理的发现，但它却在富人中引发了一场通过赞助科学来改进生产技艺的运动。一个对科学抱有这种兴趣的富有的赞助人是谢尔本伯爵威廉·佩蒂。1773年，他不但给普里斯特利提供了一个图书馆员和他孩子的家庭教师的职位，还为他修建了一间实验室，并同意给他大量的闲暇时间去开展研究。

普里斯特利是一个聪明且严谨的实验家。在他的新实验室中，他开始对烧渣进行实验，我们现在知道它是一种水银的氧化物——换句话说，水银的“锈”。那时的化学家知道当他们加热水银来制造烧渣时，水银会从空气中吸收某种东西，只是他们并不清楚那是什么物质。有趣的是，当烧渣继续被加热时，它又变成水银，大概是排出了它吸收的东西吧。

普里斯特利发现烧渣排出的气体有着不同寻常的性质。“这种气体具有高贵的本性，”他写道，“在这种气体里燃烧的蜡烛的火焰带有令人惊奇的强度……但为了完成对这种气体出众品质的证明，我把一只老鼠放入这种气体里；这个量的气体，假如是普通空气，老鼠将会在一刻钟就死掉，而它活了……整整一个小时，并且在被拿出来之后还依然活力十足。”注 他继续体验这种“高贵的”气体——当然就是氧气：“吸入这种气体后我肺部的感觉和吸入普通气体没有什么明显的不同；但我认为我的胸口在随后一段时间内感到特别轻松和舒适。”他推测这种神秘的气体或许会成为一种流行于有闲富人阶层中的新恶习。

普里斯特利没有变成一个把氧气卖给富人的经销商。相反，他研究这种气体。他把已经结块变黑的血样暴露在这种气体里，发现血块变成了鲜艳的红色。他同样注意到如果把深色的血液放置在一个狭小的密闭空间里，让它从空气中吸收这种气体，在血液变成亮红色之后，任何放进去的动物很快就会窒息而死。

普里斯特利使用这些观察结果来说明我们的肺与空气相互作用从而使我们的血液恢复活力。他又用薄荷和菠菜来做实验，他发现生长的植物可以恢复空气支持呼吸和燃烧的能力——换句话说，他是第一个注意到我们今天所说的光合作用效果的人。

尽管普里斯特利对于氧气的效果有了很多了解，也通常被认为是它的发现者，但他并没有理解它在燃烧过程中的重要意义。相反，他赞成当时一种流行但却复杂的理论，这种理论认为物体燃烧不是因为它们与空气中的某

种东西发生反应，而是因为它们在释放某种叫作“燃素”的东西。

普里斯特利曾展开过具有启发性的实验，但他并没有看到它们所揭示的东西。这个工作留给了一个叫安托万·拉瓦锡（1743—1794）的法国人，由他来解释普里斯特利实验的真正意义——呼吸和燃烧是从空气中吸收某种东西（氧气）的过程，而不是向空气中释放“燃素”的过程。[注]

* * *

一个以炼金术开始的领域可以上升到牛顿物理学精确的数学严谨的高度，这看上去或许像一个不切实际的梦想，但许多18世纪的化学家相信它可以。甚至有人推测说构成物质的原子间的吸引力本质上就是重力，并且可以用来解释化学性质。（今天我们知道他们是对的，只不过这种作用力是电磁力。）这种观点来自牛顿，他断言：“自然界存在的介质能够通过强烈的吸引力使物体粒子（例如原子）粘连在一起。把它们找出来是实验哲学的工作。”[注]这是化学在发展过程中所要面对的难题之一：牛顿观点的字面意思在多大程度上可以从物理学上转移到其他的科学上。

拉瓦锡是受到牛顿革命巨大影响的化学家之一。他把人们在当时从事的化学视为一个“建立在极少数事实之上的……由完全不一致的观点和未经证明的假定构成的……未曾被科学逻辑触及的”主题。[注]尽管如此，他依然试图让化学效仿严谨的实验物理学的量化方法，而不是理论物理学纯粹的数学体系。考虑到他那个时代的知识和技术能力，这是一个明智的选择。最终，理论物理学将可以通过它的公式来解释化学，但这得等到量子理论以及更胜一筹的高速数字计算机的出现。

拉瓦锡对于化学的选择反映出他同样热爱化学和物理学这样一个事实。实际上他或许更偏爱后者，但作为巴黎一个富裕的律师的儿子，他的家庭对于地位和特权有强烈的保护倾向，所以他最初认为化学太危险且容易引发争议。尽管拉瓦锡的家人支持他的志向，但他们期待他成为一个既人情练达又勤奋努力的人，他们看重谨慎和克制——但这些品质并不是他的天性。

拉瓦锡的真爱是科学，这在认识他的人看来肯定再明显不过了。他有疯狂的点子以及宏大的计划去实践它们。当他还是少年时，他试图研究节食对于健康的影响，于是在相当长的一段时间内他除了牛奶什么也不吃，他还曾提议说把他关在一个黑暗的屋子里6个星期来提高他判断光照强度细微差别的能力。（很明显他被一个朋友劝住了。）和许多其他科学先驱一样，那种对于科学探索同样的热情将会反映在他整个一生对于长时间的、乏味的追求认知工作的投入中。

拉瓦锡很幸运，因为钱对他来说从来都不是一个问题：在他二十来岁的时候，他就提前得到了他的遗产，按今天的货币换算价值超过了1 000万美元。他用这笔钱来做投资，购买了一家名为普通农民公司的金融机构的股份，获得了丰厚的收益。普通农民并不种植芦笋；他们征收某些税种，国王决定把这些税的征收工作交给他们去做。

拉瓦锡的投资很实际——它带来的是监督烟草管理执行情况的职责。作为对他努力的回报，公司付给拉瓦锡平均每年等同于250万美元的股息分红。他用这些钱建造了世界上最好的私人实验室，据说这个实验室储藏了如此多的玻璃器皿，以至于人们会猜想拉瓦锡喜欢看他的烧杯藏品的程度就和他喜欢使用它们的程度一样高。他也把他的钱用在了很多人道主义事业上。

拉瓦锡在1774年秋天从普里斯特利本人那里听说了他的实验，当时他正以一种科学导游的身份陪着谢尔本大人在欧洲旅游，刚好来到巴黎。他们三个和巴黎科学界的部分要人在一起用餐，之后在一起聊天。

当普里斯特利告诉拉瓦锡他目前正在做的工作时，拉瓦锡马上意识到普里斯特利关于燃烧的实验跟他进行的关于生锈的实验有某些共同之处；这让他又吃惊又高兴。但他也感到普里斯特利对于化学理论原理知之甚少，或许甚至连他自己实验的含义都不清楚。他的工作，拉瓦锡写道，是“一件由实验编织的纺织品，很难被任何推理打断”。注

在一门科学的理论和实验方面都出色当然是一个过高的要求，我所认识的顶级科学家就没有几个敢说那样的话。从个人角度说，我早先也被认为是一个崭露头角的理论家，于是在学校我被要求只需要加入一个物理实验室。在这个实验室里，我要从零开始设计和制造一台收音机，这项工程耗费了我整整一个学期的时间。最终，我的这台收音机只有在被倒着拿起来并不断摇晃时才能工作，即使那样它也只能收听到一个电台，那是波士顿一家播放刺耳的先锋派音乐的广播电台。因此我非常感激物理学领域里的劳动分工，就和我的大部分朋友一样，不管他们是理论家还是实验家。

拉瓦锡在化学理论和实验方面都是大师级的人物。拉瓦锡并不认为普里斯特利是一名优秀的知识分子，他也为探索生锈与燃烧过程的相似之处的可能性而感到兴奋，在第二天早上，他使用水银及其氧化物烧渣重复了普里斯特利的工作。他改进了普里斯特利的实验，在测量和称重每一样物品时都一丝不苟。接下来，他为普里斯特利的发现提供了一个解释，这个解释是普里斯特利自己从来没有设想过的：水银燃烧时（形成烧渣）与一种气体结合，这种气体是自然界的一种基本元素，并且——他的测量显示——它增加的重量等于它结合的气体的重量。

拉瓦锡仔细的测量工作也展示了别的东西：当发生相反过程时——即烧渣被加热变成水银——它的重量会变轻，据推测应该是释放出了它吸收的相同气体，它损失的那部分重量和水银变成烧渣时增加的重量完全相等。尽管普里斯特利因为发现在这些实验的过程中被吸收和释放的气体而获得了赞誉，但只有拉瓦锡才解释了它的重要意义——并最终将它命名为氧气。

拉瓦锡后来把他的观察转向了科学领域最著名的定律之一，质量守恒定律：化学反应中产生的物质的总质量一定与最初的反应物的质量相同。这或许是炼金术发展成为现代化学的征途中最伟大的里程碑：将化学变化视为元素的组合和再组合的过程。

拉瓦锡与税收农场的关系为他重要的科学工作提供了资金。但这也将被证明毁灭了他，因为这让他吸引了推翻法国王室的革命者的注意。在任何时间任何地点，税吏受欢迎的程度就和一个患有肺结核和重感冒的人受欢迎的程度一样。但这些税吏尤其遭人鄙夷，因为他们负责征收的许多税目都被视为不合理和不公平的，特别是它们对穷人造成的影响。

据说，拉瓦锡在履行职责时很公平，也很诚实，并对那些他要征税的人抱有一定的同情，但法国大革命并不以它明辨是非的判断而闻名。拉瓦锡给了革命者充足的理由去仇视他。

他最严重的罪行是让政府围绕巴黎市修建的巨大的厚重石墙，按今天的货币来换算造价有几亿美元。所有人只能通过城墙的关卡进出，这些关卡有全副武装的卫兵巡逻，他们会评估所有进出巴黎的物资并登记在册以便征税。因此——造成了公众的苦恼——拉瓦锡把他对精确测量的嗜好带出了实验室，带进了他作为税收代理的工作中。

当法国大革命于1789年爆发时，拉瓦锡的城墙是第一个遭到攻击的建筑物。在恐怖统治之下，他于1793年被逮捕——和其他税吏一起——被判处死刑。他请求延迟他的行刑日期，以便可以完成他正在进行的研究。据说，法官告诉他，“共和国不需要科学家”。注 或许不需要吧，但化学却需要呀，幸运的是，在他50年的人生中，拉瓦锡已经改造了这个领域。

被执行死刑的时候，拉瓦锡已经将33种已知物质认定为元素。除了10种，其他的都对。他还发明了一种根据元素构成来命名化合物的标准体系，取代了在他之前一直存在的那种令人昏乱和缺乏启发性的化学语言。我一直强调数学作为物理学语言的重要性，但一种切实可行的语言对于化学也同样重要。比如在拉瓦锡之前，hydrargyrum（汞）的烧渣和quicksilver（汞）的烧渣是同一种化合物的两种叫法。在拉瓦锡的术语

中，那种化合物变成了“汞的氧化物”。

拉瓦锡并没能发明出现代化学方程式，比如“$2Hg + O_2 \rightarrow 2HgO$”，这个方程式描述了水银氧化物的产生过程，但他确实为它的出现打下了基础。他的发现在化学领域引发了一场革命，并唤起人们对于工业的热情，而工业又反过来为未来的化学家提供了可供研究的新物质，以及需要解答的新问题。

在1789年，拉瓦锡曾出版一本名为《化学纲要》的书来整合他的观点。今天这本书被视为化学领域的第一本教科书，它澄清了元素是一种不可分解的物质的概念，否定了四元素理论和燃素的存在，维护了质量守恒定律，展示了他合理的新命名方法。这本书经短短一代人的时间就变成了经典，教导和启发了无数后来的开拓者。在那时，拉瓦锡已经被杀害，尸体被丢弃在一个巨大的集体墓穴中。

拉瓦锡一生都在为科学服务，但他也迫切地渴望名声，并为自己没能亲自分离出一种新元素而懊恼（尽管他试图分享发现氧气的荣誉）。最终，在法国否认需要科学家之后的一个世纪，他的祖国于1900年为他在巴黎树立起一尊铜像。在揭幕仪式上，各方要人评论称他“值得人类尊重”，以及他是一位“人类伟大的恩人”，因为他曾“创立了指导化学变化的基本定律”。注一位发言者认为这尊雕像刻画出了拉瓦锡“力量和智慧的所有荣光”。

这听起来很像拉瓦锡曾经渴望获得的认可，但我很怀疑他是否享受这样的典礼。因为雕像的面孔后来被证明并不是拉瓦锡的，而是哲学家和数学家马奎斯·德·孔多塞的，在拉瓦锡最后的岁月中孔多塞是科学院的秘书。雕塑家路易斯–欧内斯特·巴里亚斯（1841—1905）从另一位艺术家制作的雕像上复制了它的头部，但并没有正确地认出它的主题。注在这件事情被披露之后，法国人似乎并没有感到不安，他们依然留下了那尊错误的铜像——一个纪念被他们送上断头台的人的雕像，却带着另外一个人的脑袋。注最终，这尊雕像存活的时间和拉瓦锡一样长。跟他一样，它最后成为战争政治的牺牲品——在纳粹占领期间它被拆毁用来制造子弹。注至少拉瓦锡的观点被证明是经得住时间考验的。它们重塑了化学领域。

* * *

人们经常会提及“科学长征”，但科学并不会自己往前走；是人在推动它向前发展，和行军相比，我们向前发展的过程更像是一场接力赛。并且，这是一场相当古怪的接力赛，因为那些接棒的人经常会向上一个赛跑者意想不到，也不会认可的方向前进。这正是拉瓦锡完成他的伟大赛程之后化学

领域下一个伟大的梦想家在接替他时发生的事情。



拉瓦锡雕像，其头部是孔多塞

拉瓦锡澄清了元素在化学反应中发挥的作用，并推广了一种描述它们的量化方法。今天我们知道要想真正地理解化学——并且，尤其是如果你想对化学反应有一个量化的理解——你需要理解原子。但拉瓦锡却对原子的概念嗤之以鼻。这并不是因为他思维狭隘或目光短浅。相反，他是出于完全实用的理由才反对这种从原子的角度思考问题的观点。

自希腊人提出这个概念之后，学者们一直在对原子进行推测——尽管有时候会用不同的名字来称呼它们，比如“微粒”，或者“物质颗粒”。然而，由于它们实在太小，在近2 400年的历史长河中，没有一个人设想出一种方法来将它们和现实的观察以及测量联系起来。

为了让大家对于原子究竟有多小有一个概念，现在设想用弹珠把世界上所有的海洋填满。接着再设想每一粒弹珠都缩小到一个原子的大小。它们会占多大的空间呢？比一茶匙的量还要少。观察那么小的东西的影响，希望有多大呢？

正像它证明的那样，很大——那个神奇的成就最早是由一位名叫约翰·道尔顿（1766—1844）的教友派信徒教师取得的。注 历史上许多伟大的科学家都是有趣的人物，但作为一个贫穷织工的儿子，道尔顿并不是其中一员。他是个做什么事情都井井有条的人，不管是他的科学研究还是生活习惯都是如此。比如到了每天下午5点他必须喝茶，随后会在晚上9点吃一顿肉和土豆做成的晚餐。

道尔顿以《化学哲学新体系》这本书闻名，这是一部由三个部分组成的条理清晰的论文，最让人惊讶的是它们全都是道尔顿在闲暇时间研究和完成写作的。第一部分发表于1810年，那时他45岁，这是一本916页的巨著。在这916页中，他在一个仅仅只有5页篇幅的章节里提出了让他在今天闻名于世的划时代观点：一种利用你在实验室中可以进行的测量来计算原子相对重量的方法。那就是科学观点的力量和激动人心的地方—5页纸就可以纠正已经被误导了2 000年的理论。

就和很多观点一样，道尔顿也是以一种迂回的方式想到这一点的，尽管当时已经是19世纪，但道尔顿的观点却受到了一个出生在17世纪中叶的人的启发——再一次，这就是艾萨克·牛顿的影响力可以到达的范围。

道尔顿喜欢散步，他年轻时生活在坎伯兰，那是英国最潮湿的地区，他开始对气象学产生兴趣。他还是一个神童，在十来岁的时候就已经开始研究牛顿的《数学原理》。这两种兴趣被证明是一种有效的结合，因为它们引导着他对气体的物理性质产生了兴趣——比如坎伯兰乡下那种潮湿的空

气。由于迷恋牛顿的微粒理论——其实是经过牛顿关于作用力和运动的观点改进过的古希腊人的原子概念——道尔顿开始怀疑气体可溶性的不同是它们原子的体积大小不一样导致的，并且，这又反过来引导着他开始思考原子的重量。

道尔顿的方法基于这样一种观点：如果人们仅仔细考虑纯净的化合物，那么构成化合物的成分的比例完全相同。比如，存在两种不同的铜的氧化物。如果分别检查那些氧化物，就会发现每消耗一克氧气，所生成的一种氧化物需要用掉4克铜，而另一种氧化物需要消耗8克铜。这表明在后一种氧化物中，每个氧原子要与两倍的铜原子结合。

为简单起见，现在设想在前一种情况下每个氧原子和一个铜原子结合，而在后一种情况下每个氧原子与两个铜原子结合。那么，既然在前一种情况下氧化物是由4克铜和1克氧构成的，那你就可以断定一个铜原子的重量是一个氧原子重量的4倍。碰巧的是，那个假设是正确的，道尔顿就是用这种推理方法来计算已知元素原子的相对重量的。

因为道尔顿计算的是相对重量，他需要从某个地方着手，于是他选定了最轻的已知元素——氢——作为“一个”重量单位，用它来计算所有其他元素相对于它的重量。

不幸的是，他关于元素以最简单的比例结合的假设行不通。比如，那个假设指定水的分子式为HO，而不是我们今天知道的更复杂的H_2O。因此，当他计算氧原子相对于氢原子的重量时，得出的结果其实是真实结果的一半。道尔顿对于这种不确定性非常清楚，就水而言，他把HO_2和H_2O都视为有效的替代可能。如果普通化合物的分子式都像$H_{37}O_{22}$这样，那相对重量将会很难解释，但幸运的是不会出现这种情况。

道尔顿清楚他的估算只是暂时性的，也知道他需要收集大量化合物的数据才能发现假定分子式中存在的前后矛盾之处，从而或许可以指出它们的谬误。那个困难还要再困扰化学家50年，虽然解决细节问题还需假以时日，但这并不会削弱它对这个领域的影响，因为道尔顿版的原子论由于可以同实验室测量联系起来因而最终具有了实际意义。并且，在拉瓦锡的工作基础上，道尔顿使用他的观点创造了有史以来第一种化学定量语言——一种按照分子之间交换原子的理论来理解化学家展开的实验的新方法。比如在现代版本中，为了描述氧和氢生成水的过程，化学家（或者高中生）会写“$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$”。

这种化学新语言使化学家理解和推理他们在制造化学反应时观察和测量得到的东西的能力发生了革命性的改变，他的观点自此以后一直都是化学理论的核心思想。道尔顿的工作让他闻名世界，尽管他回避公共荣誉，但他

还是接受了荣誉，包括他曾坚决拒绝的皇家学会会员身份。1844年去世时，他原本希望一切从简的葬礼却吸引了超过4万名送葬者。

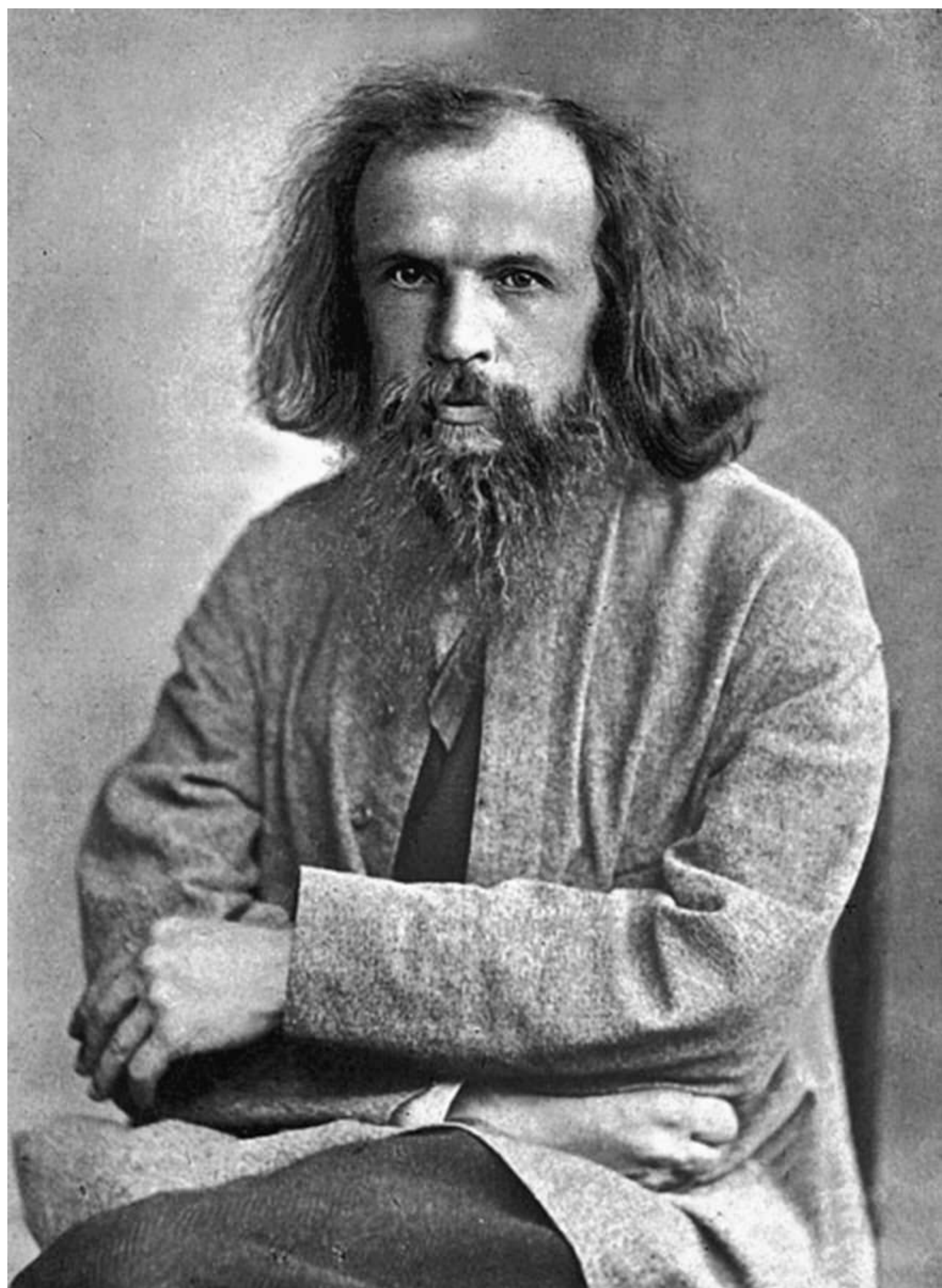
经过道尔顿的努力，人类对物质性质的理解由古代神秘知识提出的理论发展到了开始从一个远远超越我们感官的层面来理解物质的地步。但如果每种元素都依据它们原子的重量来区分，原子性质与我们看到的化学和物理特征之间又有着怎样的关联呢？那就是这场接力比赛的下一棒了，实际上这也是在牛顿学说理论范围内可以解答的最后一个关于化学的深奥问题。更深刻的见解会出现的，但它们将不得不等待物理学领域的量子革命。

* * *

斯蒂芬·霍金因身患某种疾病而瘫痪，尽管人们以为这种疾病将在几年之内杀死他，但他还是继续活了几十年。他有一次告诉我，他认为顽固是他最优秀的品质，我认为他或许是对的。尽管这让他有时候很难共事，但他知道正是他的顽固让他不但活了下来，也给了他继续开展研究的力量。

已经完成的科学理论在经过详细论述后看起来似乎都是显而易见的，但创造它们通常只能依靠巨大的毅力。心理学家常提起一种被称为“胆量”的品质，这种品质与毅力、顽固以及热情有关，这些特质我们在这些篇章中已经看到了太多。他们发现这种被定义为“随着时间的推移带着持续的兴趣和努力追逐长期目标的性格”与所有事情的成功息息相关，无论婚姻还是军队的特种部队皆是如此，这并不让人惊讶。[注]或许这也是为什么到目前为止我们在这个故事中见到的人物都非常顽固，甚至傲慢。大多数伟大的发明家也是如此。他们必须如此。

我们的下一位开拓者是俄国化学家德米特里·门捷列夫（1834—1907），他以使性子和一阵阵地发脾气闻名（以及他每年只修剪一次头发和胡子），非常适合被供奉在倔强的骡子的万神殿里。[注]实际上，他的个性强硬到他的妻子最终学会住在他们乡下的房子里来避开他——除了他出现在那里时，这时她就会拉起孩子搬到她们在城市里的住所。



德米特里·门捷列夫

和霍金一样，门捷列夫也是一个死里逃生的人。快20岁的时候，他因为患

上肺结核而住进了医院，但他不但活了下来，还在附近发现了一个实验室，在康复期间他就在那里进行化学实验。后来，在取得他的执教资格证书后，他激怒了一名教育部官员，结果被安排去遥远的克里米亚的一个高中任教。那年是1855年，当门捷列夫到那里时，他发现那所高中不仅处于战区，而且已经被关闭很长时间了。他毫不气馁地回到了家里，放弃了他有着远大发展前景的高中教师职业，在圣彼得堡大学找到了一份无薪大学教师的工作——通过讲课赚取小费。他最后成为那里的一名教授。

门捷列夫之所以能成为一名化学家，而不是一个根本没有接受过教育的人，完全感谢他的母亲。他出生在西西伯利亚一个穷苦的家庭，是家里14或17个（数字有争议）孩子中最小的那个。他的学习成绩并不优异，但却很喜欢进行临时科学实验。他母亲相信他的智力，在他15岁时父亲去世，她和他一起动身上路，去找一所愿意接收他的大学。

这被证明是一段1 400英里（2253千米）的旅程，包括搭了很多马拉货车的便车，但最终他还是得到了圣彼得堡中央师范学院的一小笔奖学金，这里的主任是他已故父亲的老朋友。他母亲在不久之后就去世了。37年后，他把一篇科学论文献给她以示纪念，这篇论文引用了他称之为她的“神圣的”临终遗言：“戒除空想，专注工作，放弃空谈。耐心寻找上帝和科学的真理。”和他之前的许多伟大科学家一样，门捷列夫把这些话作为自己一生的信条。

从某种意义上说，门捷列夫非常幸运地出生在正确的时间。实际上，每一个伟大发现和创新都源自人类洞察力和幸福环境的结合。爱因斯坦很幸运，因为他在电磁学现代理论成型后不久就开始了他的职业生涯，这种表明光速恒定的观点将成为他相对论的精华。史蒂夫·乔布斯也同样幸运，他职业生涯开始的时间正好是技术条件发展到能够开发出有用的个人电脑的阶段。从另一方面讲，美籍亚美尼亚发明家和商人卢瑟·希姆吉安拥有许多专利，但他最好的点子却早出现了大约10年：他在1960年设想出一种他称之为“银行票据机”的自动取款机（ATM）。[注]他劝说纽约市银行安装少量这种机器，但人们并不相信他们会接受存款，所以只有妓女和赌徒才会使用它们，因为他们不想和出纳员面对面打交道。10年后，时代变了，ATM机大受欢迎，只不过用的是其他人的设计。

和希姆吉安不同的是，时代精神站在门捷列夫这一边。门捷列夫成年的时候正好也是化学收获成果的时候——元素可按族划分的观点在19世纪60年代传遍了欧洲。比如，人们已经注意到氟、氯、溴——瑞典化学家永斯·雅各布·贝采利乌斯在1842年将它们归类为“卤素”——似乎属于一类：它们都具有高度腐蚀性，但当与钠结合时又会变得温和，形成无害的盐状结晶。（比如，食盐就是氯化钠。）人们也不难察觉像钠、锂、钾这样的碱性金

属之间的相似之处。它们都是有光泽、柔软和性质非常活泼的金属。实际上，碱性金属族中的成员都十分相像，如果用钾来替换食盐中的钠，得到的东西和氯化钠十分接近，甚至可以被用来做食盐的替代品。

受到卡尔·林奈将生物进行分类的方案的启发，化学家也试图发明出一种他们自己的可以用来解释元素之间关系的全面的族系。但所有这些组群的特征并不明显，人们也不清楚它们之间的相互关系，或者原子的哪些特性决定了族群的相似性。这些问题吸引了整个欧洲的思想家，甚至一个炼糖人，或者至少是炼糖厂里的家庭化学家都开始行动起来了。尽管有少部分思想家敲响了答案的大门，但只有一个人——门捷列夫——打开这扇大门冲了进去。

你也许会想到如果将元素进行分类的观点“非常流行”，那么成功做到这一点的人将获得热烈的喝彩，但你不一定会就此推断那个人将会被认为是他这个领域有史以来最伟大的天才之一——门捷列夫就是这样一个人。是什么让他能够和玻意耳、道尔顿以及拉瓦锡这样的巨人站在一起呢？

门捷列夫发明的“周期表”并不是化学家版的鸟类野外手册；相反，它是化学家版的牛顿定律，或者至少它的成就像化学希望的那样接近于那个神奇的成就。因为它并不只是一个罗列元素族群的表格；它就像一个真实的灵应牌，可以允许化学家去了解和推测任何元素，甚至那些尚未发现的元素的性质。

回望过去，人们很容易把门捷列夫的突破归功于他在正确的时间提出了正确的问题，他的职业道德、热情、顽固以及极端的自信。但就和在发现以及创新过程中经常会出现的情况一样——以及我们自己生命中的许多事情——和他的智力因素同样重要的是偶然事件发挥的作用，或者至少一个为这些品质取得胜利提供了舞台的无关事件。在这种情况下，它就是门捷列夫想写一本化学教科书的偶然决定。

1866年，32岁的门捷列夫收到了圣彼得堡大学化学系教授的任命，写教科书的决定就是在这之后做出的。圣彼得堡由彼得大帝在150年前建立，最终变成了欧洲的学术中心。它的大学是俄国最好的大学，但俄国还远远落后于欧洲其他国家，并且，在浏览了俄国的化学著作之后，门捷列夫并没有找到适用于教学的最新教材。因此，他决定写一本自己的教科书。这本书要耗费许多年的时间才能完成，并注定会在未来几十年被翻译成所有主要语言并在大学里广泛使用。这本书有些离经叛道，充满了逸闻、推测和怪诞的内容。这是一本用爱写就的作品，他想让这本书成为最好的书，正是这种动力逼迫他关注那些引导着他完成伟大发现的问题。

门捷列夫在写书时面临的第一个挑战是如何组织这本书。他决定根据元素

的性质把元素及其化合物划分成组，或者族。在相对容易地描述完卤素和碱性金属后，他面临着接下来该写哪个组的问题。它们的顺序是不是太随意了？或者是否存在某种支配它的组织原则呢？

门捷列夫艰难地思索着这个问题，在他深厚的化学知识中寻找不同的组是如何相互作用的线索。一个周六，他是如此专注，以至于他从晚上一直工作到了第二天上午。但他依然一筹莫展，这时他仿佛着了魔似的抓起笔在一个信封的背面按照它们的原子重量以上升的顺序写下氧、氢和卤族元素的名字——总共12种元素。

这时他突然注意到一个醒目的模式：这个名单以氮、氧、氟开始——每组中最轻的成员——紧随其后是每组中第二轻的成员，并依次排列下去。换句话说，这个名单形成了一个重复的，或者“周期性的”模式。这些元素中只有两种不适用于这个模式。

门捷列夫将每组元素排列成行，以叠加的方式写成一张表，这时他的发现变得越发明显。（今天我们以纵行来写这些组群。）就是这么一回事吗？如果这12种元素真的构成了一种有意义的模式，那其他51种当时已知的元素会不会也符合这种模式呢？

门捷列夫和他的朋友常常玩一种叫作“耐心”的纸牌游戏，在这种游戏中他们摊开一副扑克牌，然后以某种方式来摆放它们。他后来描述说这些牌形成了一张表，看起来很像他那天用12种元素做的表。他决定将所有已知元素的名字和原子重量写在扑克牌上，试着用它们做一张表来玩一种他现在称为“化学耐心”的游戏。他开始把这些牌挪来挪去，试图以某种有意义的方式摆放它们。

门捷列夫的方法有严重的问题。首先，他并不清楚某些元素应该属于哪个组，对于其他元素的性质也没有充分了解。并且人们对于某些元素的原子重量尚存有争议，并且，就像我们现在知道的那样，某些元素的重量完全就是错误的。或许最严重的是，还有元素尚未被发现，这让他的排序工作看上去很难有什么效果。

所有这些问题让门捷列夫的任务变得异常艰巨，但还有一样东西，一样更微妙的东西：人们没有理由相信一个基于原子重量的方案可以解决问题，因为在当时没有人理解原子的重量会反映出它哪方面的化学性质。（今天我们知道它是在原子核里的质子和中子的数量，中子的重量和原子的化学性质无关。）在这种困难局面下，正是门捷列夫的顽固支持着他追寻观点的热情：他只依靠着直觉和信念坚持了下去。

门捷列夫的工作以最直观的方式揭示了科学进程是怎样一个解决难题的活

动。但它也展示了重要的不同之处，因为和你在商店里购买的拼图游戏不同，门捷列夫拼图的图块并不能安放到位。部分科学研究以及所有创新有时候就是忽略那些显示你的方法似乎不可能有用的问题，因为你坚信你最终会找到一种变通方法，或者这些问题终究将被证明无关紧要。在这种情况下，依靠着出色的天资和非凡的毅力，门捷列夫通过重新制作拼图的部分图块以及完全制造其余的图块最终完成了自己的拼图。

事后再看，人们很容易赋予门捷列夫的成就一种英雄主义的光环。即使你的观点听起来不着边际，但如果它们起作用，我们也会把你当作英雄。但从另外一个方面讲，从古至今有太多疯狂的方案被证明是错误的。实际上，那些成功的方案远远没有那些不成功的方案数量多。错误的方案很快就会被人们遗忘，它们的信仰者所投入的经年累月的光阴最终被浪费了。我们经常把支持那些方案的人称为失败者和疯子。但英雄主义就是勇于冒险，因此，在调查研究方面真正的英雄主义就是，无论它的结果令人满意还是让人失望，我们科学家和其他革新家所承担的风险——经年累月的付出，激烈的智力奋争，而这些或许可以，也或许不会得出一个富有成果的结论或者产品。

门捷列夫当然投入了时间。当一种元素没有像他希望的那样依序落位时，他拒绝接受他的方案是错误的。相反，他坚持己见，并断定那些测量原子重量的人才是错误的——他勇敢地划掉了测量过的重量，并填写上使元素符合要求的数值。

当他的周期表在某处留下一个空缺时——这个位置要求的性质没有哪种已知元素具备——他发表了最大胆的声明。门捷列夫并没有放弃他的观点，或者试图修改他的组织原则，他继续坚称那些空缺代表尚未被发现的元素。他甚至还预测了新元素的性质——它们的重量、物理特征、会与哪种其他元素发生化合反应以及它们会产生哪种化合物——完全基于这个空缺出现的位置。

比如，铝的旁边有一个空缺。门捷列夫用一种他称之为“类铝元素”的元素来填补，并接着预测说当某些化学家最终发现“类铝元素”时，它将会是一种带有光泽的金属，有良好的导热性，熔点很低，每立方厘米的重量正好是5.9克。几年之后，一位名叫保罗–埃米尔·勒科克·德·布瓦博德兰的法国化学家在矿石样品中发现了一种符合这些条件的元素——只不过他发现它每立方厘米的重量是4.7克。门捷列夫立即给勒科克写了一封信，告诉他说他的样品一定不纯净。勒科克又用一份他确保完全纯净的新样品重复了他的分析。这一次，它的重量完全就是门捷列夫曾经预测的那样：每立方厘米5.9克。勒科克将它命名为镓，在拉丁语中它是法国的意思。

			Ti = 50	Zr = 90	? = 180
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186
			Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4
			Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198
			Ni = Co = 59	Pd = 106,6	Os = 199
H = 1			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	J = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		

hydrogen 1 H 1.0079																	helium 2 He 4.0026
lithium 3 Li 6.941	beryllium 4 Be 9.0122											boron 5 B 10.811	carbon 6 C 12.011	nitrogen 7 N 14.007	oxygen 8 O 15.999	fluorine 9 F 18.998	neon 10 Ne 20.180
sodium 11 Na 22.990	magnesium 12 Mg 24.305											aluminium 13 Al 26.982	silicon 14 Si 28.086	phosphorus 15 P 30.974	sulfur 16 S 32.065	chlorine 17 Cl 35.453	argon 18 Ar 39.948
potassium 19 K 39.098	calcium 20 Ca 40.078		scandium 21 Sc 44.956	titanium 22 Ti 47.867	vanadium 23 V 50.942	chromium 24 Cr 51.996	manganese 25 Mn 54.938	iron 26 Fe 55.845	cobalt 27 Co 58.933	nickel 28 Ni 58.693	copper 29 Cu 63.546	zinc 30 Zn 65.39	gallium 31 Ga 69.723	germanium 32 Ge 72.61	arsenic 33 As 74.922	selenium 34 Se 78.96	bromine 35 Br 79.904	krypton 36 Kr 83.80
rubidium 37 Rb 85.468	strontium 38 Sr 87.62		yttrium 39 Y 88.906	zirconium 40 Zr 91.224	niobium 41 Nb 92.906	molybdenum 42 Mo 95.94	technetium 43 Tc [98]	ruthenium 44 Ru 101.07	rhodium 45 Rh 102.91	palladium 46 Pd 106.42	silver 47 Ag 107.87	cadmium 48 Cd 112.41	indium 49 In 114.82	tin 50 Sn 118.71	antimony 51 Sb 121.76	tellurium 52 Te 127.60	iodine 53 I 126.90	xenon 54 Xe 131.29
caesium 55 Cs 132.91	barium 56 Ba 137.33	57-70 *	lutetium 71 Lu 174.97	hafnium 72 Hf 178.49	tantalum 73 Ta 180.95	tungsten 74 W 183.84	rhenium 75 Re 186.21	osmium 76 Os 190.23	iridium 77 Ir 192.22	platinum 78 Pt 195.08	gold 79 Au 196.97	mercury 80 Hg 200.59	thallium 81 Tl 204.38	lead 82 Pb 207.2	bismuth 83 Bi 208.98	polonium 84 Po [209]	astatine 85 At [210]	radon 86 Rn [222]
francium 87 Fr [223]	radium 88 Ra [226]	89-102 * *	lawrencium 103 Lr [262]	rutherfordium 104 Rf [261]	dubnium 105 Db [262]	seaborgium 106 Sg [266]	bohrium 107 Bh [264]	hassium 108 Hs [269]	meitnerium 109 Mt [268]	ununnilium 110 Uun [271]	unununium 111 Uuu [272]	ununbium 112 Uub [277]		ununquadium 114 Uuq [289]			

*Lanthanide series	lanthanum 57 La 138.91	cerium 58 Ce 140.12	praseodymium 59 Pr 140.91	neodymium 60 Nd 144.24	promethium 61 Pm [145]	samarium 62 Sm 150.36	europium 63 Eu 151.96	gadolinium 64 Gd 157.25	terbium 65 Tb 158.93	dysprosium 66 Dy 162.50	holmium 67 Ho 164.93	erbium 68 Er 167.26	thulium 69 Tm 168.93	ytterbium 70 Yb 173.04
* *Actinide series	actinium 89 Ac [227]	thorium 90 Th 232.04	protactinium 91 Pa 231.04	uranium 92 U 238.03	neptunium 93 Np [237]	plutonium 94 Pu [244]	americium 95 Am [243]	curium 96 Cm [247]	berkelium 97 Bk [247]	californium 98 Cf [251]	einsteinium 99 Es [252]	fermium 100 Fm [257]	mendelevium 101 Md [258]	nobelium 102 No [259]

门捷列夫发表于1869年的原版元素周期表，以及今天的元素周期表

门捷列夫在1869年发表了他的元素周期表，最初刊登在一家鲜为人知的俄国期刊上，后来又以《论元素性质与原子重量之间的关系》为名发表在一家权威的德国刊物上。注 除了镓以外，他的周期表还为其他未知元素——今天被称为钪、锗、锝——预留了位置。锝具有放射性，也非常稀有，因此它直到1937年才被发现。在门捷列夫去世大概30年后，它在一个粒子回旋加速器（一种微粒加速器）中被合成。

1901年首次颁发诺贝尔化学奖，此时离门捷列夫去世还有6年。他未能获得这个奖项是诺贝尔奖历史上的重大误判之一，因为他的元素表是现代化学的核心组织原理，这个发现让我们有可能掌握物质的科学，它也是从防腐师和炼金术士的实验里开始的长达2 000年的工作的顶点。

但门捷列夫最后的确成为精英俱乐部中的一员。在1955年，伯克利的科学家再次利用粒子回旋加速器，制造了一种新元素的十来个原子，为了向他的伟大成就致敬，他们在1963年将其命名为钔。已经有超过800个人获得了诺贝尔奖，但仅有16位科学家的名字被用来命名新元素。门捷列夫就是其中一员，他在自己的周期表上有了一个属于自己的位置，在这里他以101号元素出现，距离类似锿（纪念爱因斯坦）和镉（纪念哥白尼）这样的元素仅一步之遥。

---

1. 我第一次得知父亲曾经是犹太人地下组织成员时并不是他告诉我的，当时我在大学图书馆里找到了一本那个主题的书，在上面发现了他的名字。在读了关于他的故事之后，我开始询问他过去的经历。

2. 该公司的广告语原文是“Better living through chemistry”（化学创造更好的生活）。——编者注

3. “氧气”的意思是“酸味生产剂”，拉瓦锡之所以会选择这个名字是因为所有他熟悉的酸的成分中都出现了氧气。

4. 有趣的是，在1913年，据报道称一个真人大小的孔多塞的大理石半身像被作为礼物送给了位于费城的美国哲学学会，这座石像最后被证明不是孔多塞，而是拉瓦锡！(“Error in Famous Bust Undiscovered for 100 Years,”*Bulletin of Photography*13 (1913): 759; and Marco Beretta,*Imaging a Career in Science: TheIconography of Antoine Laurent Lavoisier* (Sagamore Beach, Mass.: ScienceHistories Publications, 2001), 18–24.)

5. Joseph Tenenbaum,*The Story of a People* (New York: Philosophical Library,1952), 195.

6. Paul Strathern,*Mendeleev’s Dream* (New York: Berkley Books, 2000), 195–98.

7. From an interview I taped with my father, c. 1980. I have many hours of thoseinterviews and have used them as a source for the stories I tell here.

8. J. R. Partington,*A Short History of Chemistry*, 3rd. ed. (London:

Macmillan,1957), 14.

9. Rick Curkeet, “Wood Combustion Basics,” EPA Workshop, March 2,2011, accessed October 28, 2014, www.epa.gov/burnwise/workshop2011/WoodCombustion-Curkeet.pdf.

10. Robert Barnes, “Cloistered Bookworms in the Chicken-Coop of the Muses:The Ancient Library of Alexandria,” in Roy MacLeod, ed.,*The Library atAlexandria: Centre of Learning in the Ancient World* (New York: I. B. Tauris,2005), 73.

11. Henry M. Pachter,*Magic into Science: The Story of Paracelsus* (New York:Henry Schuman, 1951), 167.

12. The definitive biography of Boyle is Louis Trenchard More,*The Life andWorks of the Honorable Robert Boyle* (London: Oxford University Press,1944). See also William H. Brock,*The Norton History of Chemistry* (NewYork: W. W. Norton, 1992), 54–74.

13. More,*Life and Works,* 45, 48.

14. Boyle observed: Brock,*Norton History of Chemistry,* 56–58.

15. J. D. Bernal,*Science in History,* vol. 2 (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1971),462.

16. T. V. Venkateswaran, “Discovery of Oxygen: Birth of Modern Chemistry,”*Science Reporter* 48 (April 2011): 34–39.

17. Isabel Rivers and David L. Wykes, eds.,*Joseph Priest-ley, Scientist,Philosopher, and Theologian* (Oxford: Oxford University Press, 2008), 33.

18. Charles W. J. Withers,*Placing the Enlightenment: Thinking Geographically About the Age of Reason* (Chicago: University of Chicago Press, 2007), 2–6.

19. J. Priestley, “Observations on Different Kinds of Air,”*Philosophical Transactions of the Royal Society* 62 (1772): 147–264.

20. For the life of Lavoisier, see Arthur Donovan,*Antoine Lavoisier* (Oxford:Blackwell, 1993).

21. Isaac Newton,*Opticks,* ed. Bernard Cohen (London, 1730; New York:

Dover,1952), 394. Newton first published*Opticks* in 1704, but his final thoughts on the matter are represented by the fourth edition, the last revised by Newton himself, which came out in 1730.

22. Donovan,*Antoine Lavoisier,* 47–49.

23. Ibid., 139. See also Strathern,*Mendeleev's Dream,* 225–41.

24. Douglas McKie,*Antoine Lavoisier* (Philadelphia: J. J. Lippincott, 1935),297–98.

25. J. E. Gilpin, "Lavoisier Statue in Paris,"*American Chemical Journal* 25(1901): 435.

26. William D. Williams, "Gustavus Hinrichs and the Lavoisier Monument,"*Bulletin of the History of Chemistry* 23 (1999): 47– 49; R. Oesper, "Once the Reputed Statue of Lavoisier,"*Journal of Chemistry Education* 22 (1945):October frontispiece; Brock,*Norton History of Chemistry,* 123–24.

27. Joe Jackson,*A World on Fire* (New York: Viking, 2007), 335; "Lavoisier Statue in Paris,"*Nature* 153 (March 1944): 311.

28. Frank Greenaway,*John Dalton and the Atom* (Ithaca, N.Y.: Cornell University Press, 1966); Brock,*Norton History of Chemistry,* 128–60.

29. A. L. Duckworth et al., "Grit: Perseverance and Passion for Long-Term Goals,"*Journal of Personality and Social Psychology* 92 (2007): 1087–101;Lauren Eskreis-Winkler et al., "The Grit Effect: Predicting Retention in the Military, the Workplace, School and Marriage,"*Frontiers in Psychology* 5(February 2014): 1–12.

30. See Strathern,*Mendeleev's Dream;* Brock,*Norton History of Chemistry,*311–54.

31. Kenneth N. Gilpin, "Luther Simjian Is Dead; Held More Than 92 Patents,"*New York Times,* November 2, 1997; "Machine Accepts Bank Deposits,"*New York Times,* April 12, 1961, 57.

32. Dmitri Mendeleev, "Ueber die beziehungen der eigenschaften zu den atom gewichten der elemente,"*Zeitschrift für Chemie* 12 (1869): 405–6.

9.生命世界

自古以来，尽管学者们一直猜测实物是由基础材料构成的，但却没有人曾猜想生物也是如此。所以当我们的老朋友罗伯特·胡克在1664年把他的铅笔刀磨得“像剃刀一样锋利”，从一块软木塞上切下薄薄的一片放到自制显微镜下观察因而成为第一个看到他称之为“细胞”的东西的人类时，这一定非常让人惊讶吧。他之所以选择那个名字是因为它们让他联想到了修道院分配给修道士的小卧室。

人们可以把细胞看作生命的原子，但它们比原子更为复杂，并且——让那些首批觉察到它们的人更为震惊的是——它们都是活的。一粒细胞就是一座生机勃勃的活工厂，它们消耗能量和原料来生产各种不同的产品，主要是蛋白质，这种物质执行几乎所有重要的生物功能。执行一粒细胞的功能需要大量的知识，因此，尽管细胞没有大脑，但它们确实“知道”该做什么——它们知道如何制造我们生长发育和身体活动必需的蛋白质和其他材料，以及，或许最重要的是它们知道如何繁殖。

一粒细胞最重要的产品就是自己的一个复制品。由于这种能力，我们人类从一粒单个的细胞开始，在经过一系列40次以上的细胞分裂后，最终由大约30万亿粒细胞组成——这比银河系里所有恒星的数量还要多出100倍。我们细胞的活动总量——一群没有思考能力的个体之间的互动——加在一起就构成了完整的我们，这简直就是一个伟大的奇迹。同样让人震惊的是，我们可以破解这一切是如何发生的，这就像是一台电脑在没有得到程序员指令的情况下对自己进行分析。这就是生物的奇迹。

如果再考虑到大部分的生物世界我们是看不见的时，这个奇迹看起来似乎就更伟大了。这一方面是细胞太过微小所致，另一方面则是因为生命形式极大的多样性。如果你将细菌这样的生物排除在外，只计算细胞中带有细胞核的生物，科学家预测在我们这个星球上大约生活着1 000万种物种，这其中我们已经发现和分类的只占1/100。单就蚂蚁而言，至少就有22 000种，数量大约相当于地球上每个人拥有100万到1 000万只蚂蚁。

我们熟悉生活在后院的大多数昆虫，但一勺泥土中含有的生物种类我们恐怕数都数不过来——数以百计甚至数以千计的无脊椎生物，显微镜下才能看到的上千条线虫，以及上万种细菌。实际上，地球上存在的生命是如此普遍，以至于我们不断地摄取我们可能根本不愿意吃的生物。试着买一罐不含昆虫碎片的花生酱：你根本就买不到。政府意识到生产不含昆虫的花

生酱是不现实的，于是颁布条例允许每31克花生酱中最多只能有10个昆虫碎片。同时，一份西蓝花或许含有60只蚜虫或者螨虫，而一罐肉桂粉中或许含有400个昆虫碎片。

这听起来实在让人倒胃口，但我们还应该记住即使在我们的身体上也不是没有陌生生命的存在——我们每个人都构成了一个完整的生物生态圈。比如，科学家已经识别出生活在你前臂上的44属（物种分类）微生物，以及至少160种生活在人们肠道中的细菌。在你的脚趾缝里呢？40种真菌。实际上，如果你不怕麻烦愿意统计的话，你会发现生活在我们身体上的微生物细胞比人体细胞要多得多。

我们身体的每一个部位都构成了一个截然不同的栖息地，与生活在你自己前臂上的生物相比，生活在你肠道或脚趾缝里的生物和生活在我身体上相同部位的生物有更多的共同点。北卡罗来纳州立大学甚至成立了一个名为肚脐眼生物多样性计划的学术中心，目的就是研究生活在那个暗无天日的、与世隔绝的区域里的生命。还有声名狼藉的皮肤螨，它是壁虱、蜘蛛和蝎子的近亲，这些不足1/3毫米长的生物就生活在你的面部——在毛囊和与毛囊相连的腺体中——主要靠近鼻子、睫毛和眉毛，它们在这里吸取你细胞中的营养。但不必担心，它们一般不会引发疾病，如果你是一个乐观主义者，你可以希望自己属于没有它们的那一半成年人。

鉴于生命的复杂性，它在体型、形态和栖息地上的多样性，以及人类对于我们“仅仅”是物理定律的产物这种观念的本能厌恶，生物学作为一门科学落后于物理学和化学的发展也就不会让人感觉意外了。和其他科学一样，要想使生物学得到发展，它必须要战胜人类相信自己是特殊的，以及世界是由神或魔法统治的这种本能倾向。并且，和其他科学一样，这也就意味着要战胜天主教会以上帝为中心的教义和亚里士多德以人为中心的理论。

亚里士多德是一位狂热的生物学家——他现存的著作中差不多有1/4都和这门学科有关。比起亚里士多德的物理学把我们的地球当作宇宙的中心，他的生物学个人化倾向更明显，他高度赞扬人类，尤其是男人。

亚里士多德相信一位具有智慧的神设计出了所有生命体，这些生命体和那些非生命物质的不同之处在于它们拥有一种特殊的品质或本质，而这种品质或本质在生命体死亡时就会离开或者停止存在。亚里士多德认为在所有生命蓝图中，人类代表了最高点。对于这个观点亚里士多德的态度十分激烈，当他描述一个物种和人类相对应的不同特征时，他甚至把这称为畸形。同样，他把女人视为畸形的或者有缺陷的男性。

这种传统但错误的信仰为现代生物学的诞生设置了舞台。在战胜这类观点的早期重要胜利中，其中一个是对一种被称为自然发生说的亚里士多德生物学原理的驳斥。自然发生说认为生命体是从像灰尘那样的非生命物质中诞生的。大约在同一时期，通过显示即使是简单的生命体也和我们一样拥有器官，以及我们与其他植物和动物一样都是由细胞构成的，显微镜这种新技术使人们对于旧有的思维方式产生了怀疑。但在发现它的伟大组织原理之前，生物学还无法真正地变成一门成熟的科学。

关注物体如何相互作用的物理学有了它的运动定律；关注元素和它们的化合物如何相互作用的化学有了它的周期表。生物学关注的是物种活动和互动的方式，要想取得成功，它需要理解这些物种为什么会具有现在这样的特征——一个不同于“因为上帝把它们做成这样”的解释。这个理解终将会随着达尔文提出的基于自然选择的进化论而出现。

* * *

在生物学出现很久之前，人们就已经开始对生命进行观察。农民、渔夫、医生以及哲学家对于海里以及乡下的生物都有所了解。但生物学不仅仅只是注明细节的植物目录或鸟类野外手册，因为科学不会安静地坐着去描述世界；它会因为那些能够解释我们看到的事物的观点而跳起来大喊大叫。然而，解释要比描述困难得多。结果，在科学方法出现之前，生物学就和其他科学一样深受合理的——但是错误的——解释和观点的困扰。

以古埃及的青蛙为例。每年春天，在尼罗河淹没周边土地之后，它会留下营养丰富的淤泥，这样的土地经过农民辛勤耕耘很快就可以为国民提供食物。这种泥泞的土壤也会出产另一种在干燥的土地上不会存在的“庄稼”：青蛙。这种聒噪的生物出现得这么突然，数量又如此庞大，它们似乎是从泥巴里自己长出来的——这完全就是古埃及人认为它们形成的方式。

埃及人的理论并不是软弱无力的论证结果。在历史上的大多数时间里，勤勉的观察家们都得出了同样的结论。屠夫注意到蛆虫“出现”在肉上，农民发现老鼠“出现”在储藏麦子的粮仓里。17世纪，一位名叫扬·巴普蒂斯塔·范·海尔蒙特的化学家甚至推荐了一种利用日常材料来制造老鼠的秘方：只需在一个罐子里放少许麦粒，再放入脏内衣，然后等上21天。据说这个秘方经常奏效。

支持范·海尔蒙特混合物的理论是自然发生说——即简单的生物可以从某种非生命基础中自然产生。自古埃及以后，也或许是之前，人们相信某种生命力或者能量存在于所有生物当中。[注]随着时间的推移，这类观念产生了一个副产品，即相信生命能量能够以某种形式注入非生命物质当中从而创造出新生命，当这种学说被亚里士多德整合成一套连贯的理论后，它获

得了特别的权威。但就和17世纪某些关键的观察和实验代表着亚里士多德物理学终结的开始一样，在那个世纪科学的兴起最终对他关于生物学的观点发起了有效的攻击。在那些最值得纪念的挑战中就有意大利医生弗朗西斯科·雷迪在1668年进行的一次自然发生实验。这是生物学历史上首批真正的科学实验之一。

雷迪的方法很简单。他找来一些广口罐，在里面放入新鲜的蛇肉、鱼和小牛肉。接着他把一部分罐子露天摆放，其他的则用类似纱布的材料或者纸遮盖起来。他假设如果自然发生说真的正确的话，在所有这三种情形下苍蝇和蛆虫都将会出现在肉上。但就像雷迪怀疑的那样，如果蛆虫是从苍蝇产下的微小的看不见的卵里出现的，那它们应该出现在露天的罐子里的肉上，而不会出现在用纸遮盖的罐子里。他还预测蛆虫会出现在其余的用纱布遮盖的罐子上，因为这里是饥饿的苍蝇可以到达的距离肉最近的地方。后来发生的情况也确实如此。

人们对于雷迪的实验态度不一。对于有些人，它似乎揭穿了自然发生说的骗局。其他人则选择忽视它，或者寻找纰漏。很多人有可能属于后一群体，因为他们在维持自己先前的信仰时存有偏见。毕竟，这个问题具有神学含义——有些人觉得自然发生说为上帝保留了一个创造生命的角色。但对于雷迪结论的怀疑也有科学方面的依据——比如，超出他所研究的生物范围再去推断，他实验的有效性将是错误的。或许他所做的全部工作只是证明了自然发生说并不适用于苍蝇吧。

难得的是，雷迪自己是一个心态开放的人——他甚至在他猜想的其他情况中发现自然发生的确会出现。最终，这个问题还将再被争论200年，直到19世纪晚期路易·巴斯德用他严谨的实验使它永远平息下来。他的实验显示即使是微生物也不是自然发生的。虽然不是最终的答案，但雷迪的工作仍然是辉煌的。其突出之处在于，任何人都可以做类似的实验，但却没有一个人想到去这么做。

人们通常认为伟大的科学家都拥有非凡的智慧，在社会上，特别是在生意场上，我们倾向于躲开那些不能很好地融入集体的人。但正是那些与众不同的人经常能看到别人看不到东西。雷迪是一个复杂的人——他是一个科学家，但同时也很迷信，会给自己涂上油脂来预防疾病；他是医生和博物学家，但同时又是一个诗人，曾写下赞颂托斯卡纳葡萄酒的经典诗篇。至于自然发生说，只有雷迪这样足够古怪的人才会跳出常规方式进行思考，在一个科学推理还没有成为寻常事物的时代，他像科学家一样推理和行动。通过这样做，他不但使人们开始对一个无效的理论产生怀疑，还抨击了亚里士多德，并为解答生物学问题指明了一条新路径。

* * *

不久的显微镜研究显示微生物的构造足够复杂并具有生殖器官，雷迪的实验在很大程度上就是对这种研究做出的反应——因为“低等动物”由于太简单而没有繁殖能力是亚里士多德关于自然发生说的论据之一。

实际上显微镜在几十年前就已经被发明出来了——大概和望远镜在同一时期——尽管没有人知道具体的时间，或者是由谁发明的。但我们的确知道人们最初用同一个拉丁语单词*perspicillum*来代表它们两个，伽利略甚至使用同样的仪器——他的望远镜——分别从两端进行观察。“有了这根管子，”他在1609年告诉一位访客，“我看到的苍蝇就像羊羔一样大。”[注]

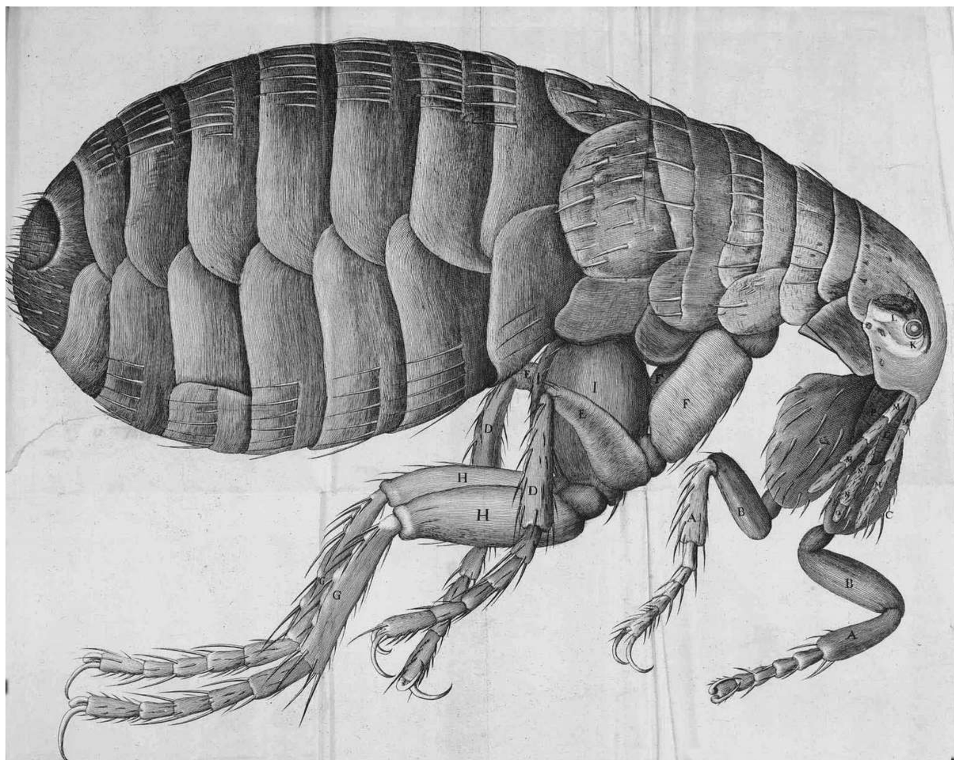
和望远镜一样，显微镜通过展示一个古人从未曾想象过的——或者通过理论加以解释过的——自然王国的细节，最终帮助学者们打开了思路，以不同的方式思考他们的研究主题，因而创造出了一系列智力进步，并将在达尔文这里达到顶点。但是和望远镜一样，显微镜最初也遭遇到了强烈的抵制。中世纪的学者对于“光学幻觉”十分警惕，他们并不相信任何处在他们和他们的观察对象之间的装置。望远镜有它的伽利略，他很快就直面批评家并使用这种装置，而显微镜却需要花费半个世纪的时间来让它的拥护者们留下他们的印记。

罗伯特·胡克就是其中最伟大的支持者，他在皇家学会的命令下展开他的显微镜研究，因而对生物学的根基做出了贡献，就像他曾经对化学和物理学做出的贡献一样。[注]1663年，皇家学会指派给胡克一个任务，让他在每次开会时至少展示一个新奇的观察结果。尽管他患有眼疾，长时间盯着镜片看既不容易也会让眼睛疼痛难忍，但他还是完成了这项挑战，使用经他自己设计并改进的仪器完成了一系列非凡的观察。

1665年，30岁的胡克发表了一本名为《显微图谱》或《小图片》的书。这本书有点儿像胡克在多个领域工作和观点的大杂烩，但它引起了极大的轰动，因为它通过胡克手绘的57幅神奇插图揭示出一个奇特的、全新的微观世界。它们首次向人类展示了跳蚤的结构、虱子的身体、苍蝇的眼睛，以及蜜蜂的螫针，这些全部放大成整版的图像，有些甚至以折叠式插页来展示。即使是简单的动物也和我们一样有肢体和器官，这对于一个从未见过放大的昆虫的世界来说不仅是一个惊人的发现；它同样也是对亚里士多德学说的直接驳斥，这个发现类似于伽利略观察到月球同地球一样也有山丘和峡谷。

《显微图谱》发表的那一年正好赶上大瘟疫最为肆虐的时候，每7个伦敦人中就有一个因瘟疫而死。第二年，伦敦被大火吞没。但尽管有这些混乱和痛苦，人们依然阅读胡克的书，它成为畅销书。著名的日记作家、海军大臣，后来的议会成员塞缪尔·佩皮斯对于这本书如痴如醉，他甚至一直熬

夜到第二天深夜两点来读这本书，后来还把它称为“我这一辈子读过的最别出心裁的书”。注



胡克的《显微图谱》

尽管胡克让新一代的学者兴奋不已，但他也遭到了怀疑者的奚落，这些人发现自己很难接受他有些怪异的描绘，也不相信他使用的仪器。最糟糕的时刻是他观看由英国剧作家托马斯·沙德韦尔创作的一出关于当代科学的讽刺剧。当胡克意识到在舞台上被嘲笑的实验几乎就是他自己的实验时，他感觉受到了侮辱。那些实验是从他挚爱的书里挑出来的。注

有一个名叫安东·范·列文虎克（1632—1723）的业余科学家并不怀疑胡克的主张。注他出生在荷兰的代尔夫特。他父亲编织篮子，著名的蓝白相间的代尔夫特陶器就是放在这种篮子里被运送到世界各地的；她母亲的家庭从事另一种代尔夫特特产的制造——啤酒。在他16岁时，年轻的安东给一个布匹商人做出纳和记账人，到1654年时他开始自己做生意，卖纺织品、丝带和纽扣。很快他就会添加另一个毫无相干的职业：负责维护和修

缮代尔夫特市政大厅。

列文虎克没有上过大学，也不懂拉丁语——当时的科学语言。尽管他活了90多岁，但他只离开过荷兰两次——一次是去访问比利时的安特卫普，另一次是去英国。但列文虎克却喜欢读书，启发他的那本书正是胡克的畅销书。这本书改变了他的人生。

在它的序言中，《显微图谱》讲解了如何制作简单的显微镜，作为一名纺织品商人，列文虎克很有可能有一些打磨镜片的经验，因为他需要用它们来查看亚麻布样品。但在读过《显微图谱》之后，他成为一个狂热的镜片制作人，投入大量的时间来制作新显微镜并用它们进行观察。

在他早期的工作中，列文虎克只是简单地重复胡克的实验，但很快他就让这些实验黯然失色。在他们那个时代，胡克的显微镜在技术上已经算很先进了，他曾因他显微镜20～50倍的放大效果而让皇家学会惊叹不已。所以，当1673年皇家学会的秘书亨利·奥尔登伯格收到一封信，告诉他在荷兰有一个没有上过学的看门人和纺织品供应商“设计出了远胜于我们此前见过的那些显微镜”时，你可以想象一下当时人们的惊愕程度。注 实际上，41岁的列文虎克设计的显微镜达到的放大效果是胡克显微镜的10倍。

列文虎克的显微镜具备如此强大的功能不是因为精巧的设计，而是因为上佳的技艺。实际上它们只是简单的装置，使用精选的玻璃片或者甚至是沙粒制作出的镜片安装在黄金和白银做成的金属板上，他有时候会自己从矿石中提炼这些黄金和白银。他将每一个样品都固定死，他会为每一项新研究制作一台新的显微镜，或许是因为找出恰当的安装位置就和制作镜片一样困难吧。不管出于什么原因，他没有与任何人分享，一般来说他的方法也非常保密，因为和牛顿一样，他想避免“其他人的否定或责难”。在他漫长的一生中，他制作出了超过500块镜片，但直到今天为止依然没有人知道他是如何制作的。

当关于列文虎克成就的消息传来时，处于英荷战争中的英国和荷兰海军正在向对方发射炮弹，但与列文虎克祖国的战争并没有阻止奥尔登伯格：他鼓励列文虎克报告他的发现，这个荷兰人照做了。他因为得到了皇家学会的关注而惶恐不安，在第一封信中，列文虎克说如果他们注意到他工作中的任何缺点，他向他们道歉。他写道，这是“我自己的冲动和好奇心的结果。因为在我们这座小镇上除了我以外没有哲学家从事这项技艺，所以祈祷不要误解我拙劣的文笔和在记录我胡扯的概念时的放肆”。注

列文虎克的“概念”是一个比胡克的观察更伟大的发现。因为胡克只看到了微小的昆虫身体部位的细节特征，而列文虎克看到的却是因为太小而无法

用肉眼看见的完整的生物，这是一个之前没有人觉察到它们存在的生物群落，这类生物有些是我们肉眼能看到的最小的动物的1/1 000甚至1/10 000。他把它们称为“极微动物”。今天我们把它们叫作微生物。

如果伽利略喜欢观察月球地貌和土星环的话，列文虎克也从通过他的显微镜观察奇特的微小生物构成的新世界中得到了乐趣。在一封信中，他描述了存在于一滴水中的世界：“我现在可以很清楚地看到这里面有小鳗鱼，或者蠕虫，全聚集在一起不停地蠕动……整个水滴似乎都因为这些各种各样的极微动物而充满生气……就我个人来说，我必须得承认没有比这些数以千计的生物更让人愉悦的景象在我的眼前出现过，在一小滴水中全都是那么生机勃勃。”注

但如果说列文虎克有时候会以一种上帝视角通报他看到的整个世界的话，在其他报告中他会将个体生物放大到足够大，并以大量的细节来描绘许多新物种。比如，他这样来描绘一种生物，它“伸出两只动来动去的小触角，和马的耳朵的构造很相似……（有一个圆圆的身体），只不过它身体的后面形成一个尖端；在这个尖端上长着尾巴”。注在50年的时间里，列文虎克从没有参加过一次皇家学会的会议，但他给它写了几百封信，其中大部分都被保存了下来。奥尔登伯格让人把它们进行编辑并翻译成英语或者拉丁语，皇家学会发表了它们。

列文虎克的工作引起了轰动。世人非常惊讶地了解到池塘里的每一滴水中都是一个生物宇宙，我们的感官之外居然存在着完整的生命类别。并且，当列文虎克把他的显微镜指向人类的组织，例如精子细胞和毛细血管时，他揭示了我们自己的构造以及它是多么平常，因为我们和其他生命形式有太多的共同之处。

和胡克一样，列文虎克也有质疑者，他们认为这些都是他编造出来的。他通过提供由受人尊敬的见证人、公证人，甚至是代尔夫特宗教团体的牧师签字的证明书来反驳这些怀疑者。绝大多数的科学家都相信他，胡克甚至复制了列文虎克的部分研究。随着消息的扩散，来自各地的访客出现在了列文虎克的工作室里，要求一睹他的微小动物。皇家学会的创立者和赞助人查理二世命令胡克展示一项他曾经复制过的列文虎克的实验，俄国的彼得大帝甚至亲自拜访了列文虎克。这对一个开纺织品商店的家伙来说不是一件坏事。

1680年，列文虎克在没有亲自出席的情况下被选举为皇家学会的会员，他一直工作到生命的终点，大概在40年后以91岁的高龄去世。在接下来的150年里，没有可以与之匹敌的微生物猎人进入这个领域。

在列文虎克弥留之际，他做的最后一件事情是请求一位朋友把他最后两封信翻译成拉丁文并寄给皇家学会。他还为皇家学会准备了礼物：在一个黑金相间的盒子里装的是他最好的显微镜，它们中的一部分列文虎克从来没有向别人展示过。今天，他的显微镜中只有少数还完好无损；2009年，一台显微镜在拍卖会上拍出了312 000英镑的天价。[注]

在漫长的一生中，列文虎克帮助创立了未来生物学的许多领域——微生物学、胚胎学、昆虫学、组织学——这让一位20世纪的生物学家把列文虎克的信件称为“一个科学学会所能收到的最重要的系列通信”。[注]同样重要的是——和伽利略之于物理学以及拉瓦锡之于化学一样——列文虎克帮助确立了生物学领域的科学传统。正如代尔夫特新教的一位牧师在1723年向皇家学会通报列文虎克去世的消息时写的信里说的那样：“安东·范·列文虎克思考如何通过实验方法来对自然哲学中真实存在的东西展开富有成果的研究，并获取感官证据的支持；因为这些原因，他通过勤奋和不知疲倦的劳动用自己的双手制作出了某些最优良的镜片，并在它们的协助下发现了自然界的许多奥秘。现在，他闻名于整个哲学世界。”[注]

* * *

假如胡克和列文虎克从某种意义上说是生物学领域的伽利略的话，那么查尔斯·达尔文（1809—1882）就是它的牛顿。[注]他被实至名归地安葬在威斯敏斯特大教堂离牛顿几英尺远的地方，他的护柩者包括两名公爵和一名伯爵，以及过去、现在和未来的皇家学会主席。尽管在某些人看来达尔文被埋葬在修道院似乎不太协调，但卡莱尔主教却在他的葬礼布道上说：“如果曾经发生过任何事情会让人们重视并传播这个愚蠢的想法……即在自然知识和对上帝的信仰之间会存在必要冲突，那将太不幸了。”[注]对于一个主要科学成就最初遭到冷遇，继而又是极大的仇视和怀疑的人来说，这样一个葬礼无疑是一个显赫的结局。

约翰·穆雷就是那些开始时无动于衷的人里面的一员，他是达尔文的出版商，他同意发行这本达尔文详细阐述其理论的书，但首版只会发行1 250册。穆雷很有理由担心，因为之前那些已经看过达尔文书的人对它并无热情。一个早期的评论家甚至建议穆雷不要出版这本书——它是“他的理论的一个不完美和相当蹩脚的说明”，他写道。接着这位评论家建议达尔文写一本关于鸽子的书，并在那本书里包含一个关于他理论的简短声明。“所有人都对鸽子感兴趣，”这位评论家建议道，“这本书将……很快出现在每一张书桌上。”[注]这个建议传到了达尔文的耳朵里，但他婉拒了。不是因为他担心书的销量问题。“上帝知道公众是怎么想的。”他评论道。



达尔文并不需要担心。《论依据自然选择的物种起源》或《在生存斗争中保存优良种族》将成为生物学领域的《数学原理》。当这本书在1859年11月24日出版时，1 250册书立即被渴盼已久的书商抢购一空，自此以后它一直在出版。（然而，也有传闻说这本书并没有在出版当天全部卖完。）这是一个令人欣慰的认可，尤其对于一个有热情和耐心花费20年时间为自己的观点搜集证据的人——他付出的努力是如此巨大，甚至在它许多副产品中有一本684页的关于藤壶（一种节肢动物）的专题论文。

达尔文的前辈们对于从细菌到哺乳动物的生命形式有很多描述性细节的了解，但他们却对更基本的问题，例如是什么让物种具有了现在这样的特征，一无所知。和牛顿之前的物理学家或者元素周期表出现之前的化学家一样，达尔文学说出现之前的生物学家也会收集数据，但却不知道如何将它们有机地统一起来。他们之所以不能，是因为在达尔文之前生物学这个年轻的研究领域受到不同形式的生命的起源和相互关系是科学无法解答的观念的束缚——这种观念来自对《圣经》创世故事字面意义的接受，这个故事认为地球和所有生命形式是在6天的时间内被创造出来的，从那之后物种再也没有发生过改变。

并不是没有思想家对物种进化这个观点进行过思索——之前有过，最远可以追溯到古希腊时代，这些人中就有达尔文的祖父伊拉斯谟·达尔文。但达尔文之前的进化理论含混不清，和它们要取代的宗教教义相比还算不上是科学理论。结果，尽管在达尔文之前就已经出现了关于进化论的观点，但大多数人，包括科学家，都相信人类处于由众多原始物种构成的金字塔的顶端，这些原始物种的特征是固定不变的，它们由造物主设计，而造物主的想法我们永远不会了解。

达尔文改变了这种观点。如果把他之前关于进化的猜测比作一片小树林，他的理论就像是一棵参天大树，一个严谨科学的宏伟样本。因为他的先驱提供的每一个论据或者每一件证据，他都可以拿出100条。更重要的是，他发现了物种进化背后的机制——自然选择——并因此让进化论经得起考验，使其科学价值得到尊重，把生物学从对上帝的依赖中解放出来，使它成为一门真正的科学，一门像物理学和化学一样扎根于物理定律的科学。

* * *

查尔斯·达尔文于1809年2月12日出生在英国什鲁斯伯里的家中，他的父亲名叫罗伯特·达尔文，是镇上的医生；他的母亲名叫苏珊娜·维奇伍德，她的父亲成立了一家以那个名字命名的陶器厂。达尔文一家经济条件优渥，很有名望，但查尔斯却是一个讨厌学校的差生。他后来曾记录下他对于死

记硬背式的学习和“没什么特别天赋”的糟糕回忆。他其实是妄自菲薄，因为他还发现他对于“事实和它们的意义有强烈的好奇心”以及“在同一个研究主题上旺盛和持久的思考能量”。[注]这后两种品质对于一个科学家——或者任何创新者——来说实在是种特殊的天赋，它们对达尔文很有用。

有一件事情可以很好地展示他的好奇心和决心，那时他还在剑桥上大学，对于收集甲虫这个爱好非常痴迷。“一天，”他写道，“在把一块老树皮剥掉之后，我看见两只罕见的甲虫，每只手里抓了一只；这时我看见第三只，一个我不忍心错失的新品种，于是我把右手上抓的那只塞进了嘴里。”[注]只有那种性格的男孩才会成长为一个坚忍不拔的男人，会用684页纸来论述藤壶这个话题（尽管在他完成此书之前他写道，“没有比我更讨厌藤壶的人了”）。[注]

达尔文花费了很多年才找到他的使命。他的旅程开始于1825年的秋天。在他16岁时，他父亲把他送到了爱丁堡大学，而不是剑桥去学习医学，就像他自己和达尔文的祖父曾经做的那样。这被证明是一个糟糕的决定。

首先，达尔文是出了名的神经过敏，在那个时代，手术给人的印象就是大摊的鲜血和病人的哀号，以及在不实施麻醉的情况下切开身体。尽管如此，几年后当达尔文寻找支持他进化论的证据时，神经过敏并没有阻止他解剖狗和鸭子。缺乏兴趣和动力很有可能是他学习医学的致命伤。正如他后来写的那样，他开始相信他父亲给他留下了足够的家业“可以安逸地维持生活”，并且这种期待“有效地打消了任何学习医学的努力”。[注]于是，在1827年春天，达尔文在没有得到学位的情况下离开了爱丁堡。

剑桥是他的第二站。他父亲把他送到那里，想的是让他研究神学，以后从事牧师这个职业。这一次达尔文完成了他的学位，在178名毕业生中排名第10。这么高的排名让他很吃惊，但这或许也反映出他的确对地质学和自然历史产生了真正的兴趣，就像他收集甲虫的爱好证明的那样。尽管如此，在他即将踏上的生活道路中科学似乎至多也就是一个爱好，而他的职业精力将会投入给教堂。但接下来，结束在北威尔士的一次研究生地质学徒步旅行回到家里之后，达尔文发现了一封提供不同选项的信：乘坐贝格尔号出海环球旅行的机会，它的船长是一个名叫罗伯特·菲茨罗伊的人。

这封信来自剑桥大学植物学教授约翰·亨斯洛。尽管排名靠前，但达尔文在剑桥算不上出类拔萃；然而，亨斯洛却看到了他的潜力。他有一次评论说，“达尔文这个家伙问题怎么那么多”——这是一句表面上很平淡的赞誉，但它表明在亨斯洛的脑海中，达尔文拥有科学家的灵魂[注]亨斯洛和这个好奇的学生成了朋友，当他被要求推荐一个年轻人来担任这次航行的

博物学者时，他推荐了达尔文。

亨斯洛给达尔文的信是一系列意外事件的高潮。事情还要从贝格尔号前任船长普林格尔·斯托克斯说起，他对着自己的脑袋开了一枪，但那粒子弹并没有杀死他，他之后死于坏疽。斯托克斯的中尉菲茨罗伊把这艘船带回了家，但他也清楚斯托克斯的抑郁是常年海上旅行的孤独引发的，在这样的旅行中，船长被禁止和他的船员交流。菲茨罗伊的叔叔在几年前用一把剃刀割开了自己的喉咙，大概在40年后菲茨罗伊自己也将步其后尘，因此他一定意识到应该尽最大的努力来避免那样的命运。结果，当26岁的菲茨罗伊得到接替斯托克斯的机会时，他决定带上一名同伴。当时的习惯是船上的医生兼任博物学者，但菲茨罗伊说他想找一个声望高的年轻“绅士博物学者”——一个实质上做他的雇佣朋友的人。

达尔文并不是菲茨罗伊的第一选择——这个职位之前已经被提供给好多人了。假如他们中有一个人接受的话，达尔文极有可能会在教堂中过完他平静的一生，永远不可能创造出他的进化论——就像假如哈雷没有停下来去看望牛顿并询问平方反比定律的话，牛顿就极有可能不会完成和发表他的伟大著作一样。但菲茨罗伊提供的这个职位没有报酬——补偿来自以后销售沿途上岸访问时收集的标本——那些被询问的人没有一个愿意或者能够在自费的情况下在海上度过很多年时间。结果，这个选择最终落到了22岁的达尔文头上，为他提供了一次冒险的机会——以及避免开始一个他将宣称地球是在公元前4004年12月23日的前夜被创造出来的职业生涯（就像一本出版于17世纪的《圣经》分析报告宣称的那样）。达尔文抓住了这次机会，这将改变他的一生以及科学史。

贝格尔号在1831年出海，直到1836年才返航。这并不是一次舒适的旅途。达尔文在船上一个狭小的船尾楼舱室里居住和工作，这里是船上最颠簸的位置。他和其他两个人共享一个房间，睡在一张挂在海图桌下面的吊床上。“这里的空间仅能容我转身，这就是全部。”注他在一封信里向亨斯洛报告说。毫不奇怪的是，他受到晕船的折磨。尽管达尔文与菲茨罗伊形成了某种友谊——他是船上唯一可以和船长保持亲密关系的人，他们通常会在一起吃饭——但他们之间经常发生争执，特别是关于奴隶制的问题，达尔文鄙视这种制度，但他们在岸上经常会看到这种现象。

尽管如此，旅途中所有的不适都被上岸访问时无比的激动抵消了。在那些时间里，达尔文在巴西参加狂欢节，在智利的奥索尔诺外围观看火山爆发，在康赛普西翁经历了一场地震，还穿过了它留下的废墟，他还见证了蒙得维的亚和利马的革命。与此同时，他一直在采集标本和化石，将它们打包装进板条箱里运回英国，交给亨斯洛代为保管。

达尔文后来把这次旅行看作他生命中最有影响力的定型事件，一方面是因为旅行留在他性格上的烙印，另一方面也是因为旅行让他对于自然世界产生了新的理解。然而，达尔文并不是在这次航行中完成了他关于进化的著名发现，他甚至还没有开始接受发生过进化这样的观点。注实际上他就像开始这段旅行一样结束了它——对于《圣经》的道德权威没有产生怀疑。

然而他对于未来的计划确实发生了改变。当航程结束后，他给一个在教堂工作的堂兄弟写信说："你的境况让人羡慕不已，我都不敢有这样幸福的幻想。对于一个适合在办公室工作的人来说，牧师的生活是……让人尊敬和幸福的。"注尽管说了那些令人鼓舞的话，但达尔文已经确定自己并不适合那种生活，他选择在伦敦的科学界闯出一片属于自己的天地。

* * *

回到英国之后，达尔文发现他随手写给亨斯洛教授的信中详细描述的观察得到了科学界的一些关注，特别是那些和地理有关的部分。很快达尔文就在著名的伦敦地理学会做了主题为"某种火山现象和山脉构造与大陆提升影响之间的联系"的演讲。同时，多亏他父亲提供的每年400英镑的津贴，他享受着经济独立。巧合的是，这与牛顿在铸币厂工作时赚取的工资数额相同，但在18世纪30年代，根据英国国家档案，这笔钱"仅仅"是一个手艺人工资的5倍（尽管如此，依然足够去买26匹马或75头奶牛）。这笔钱让达尔文能够投入时间把他的贝格尔号日记整理成书，并把他收集的许多动物和植物标本进行分类整理。正是这种努力改变了我们对于生命本质的观点。

因为在航行途中达尔文对于生物学并没有任何重要的灵感，他很有可能对于他送回家的标本的仔细检查只是大量坚实但并不具有革命性的工作。然而很快就有迹象表明，他的研究或许比预期的更加让人兴奋——他曾把他的部分标本送去给专业人士分析，他们的很多报告都让他惊讶不已。

比如，一组化石显示出"生物续替定律"——即灭绝的南美洲哺乳动物被同一种类的其他动物取代。在另一篇关于加拉帕戈斯群岛知更鸟的报告中，他得知总共有三种知更鸟，而不是他之前认为的四种，它们是岛上特有的品种，就像在那里发现的巨型海龟一样。（关于他是因为观察到生活在加拉帕戈斯不同岛屿上的雀类喙的不同从而受到启发的故事是假的。注他的确带回了雀类标本，但他没有接受过鸟类学的训练，并且实际上他把它们和雀类、鹪鹩、蜡嘴鸟，以及黑鹂的近亲混为一谈——而且它们也并没有按照岛屿来分类。）

专家报告中最惊人的地方或许和一件美洲鸵，或者南美洲鸵鸟的标本有关，达尔文和他的团队在意识到它可能具有的重要意义之前把它煮熟吃了，只把它的残骸运回了家。那件标本最后被证明属于一个新物种，它和普通美洲鸵一样拥有自己主要的活动范围，但同时又会和普通美洲鸵在一个中间地带相互竞争。这与之前流传下来的传统智慧相悖，这种智慧认为每个物种都会充分利用它独有的栖息地，不会留下模糊地带来让类似的物种和它竞争。

随着这些令人兴奋的研究陆续出现，达尔文自己对于上帝在创造物种中扮演的角色的想法也在不断地发生变化。一个主要影响是查尔斯·巴贝奇，他在剑桥大学担任牛顿之前的职位——卢卡斯数学教授，并以发明出了机械计算器而闻名。巴贝奇举办了一系列由自由思想家参加的社交聚会，他自己还写了一本书，指出上帝通过物理定律而不是命令和奇迹发挥作用。这种观点为宗教和科学的共存提供了最有前景的基础，很吸引年轻的达尔文。

达尔文逐渐开始相信物种不是上帝为把它们纳入某种宏大计划而设计出的一成不变的生命形式，而是以某种方式改变自己以适应它们的生态圈。到1837年夏天——也就是贝格尔号结束航程的那一年——达尔文已经变成了一个进化论观点的皈依者，尽管他距离提出自己特别的理论依然还很遥远。

很快达尔文就开始抵制人类是高等的的观念，或者实际上有任何动物会比另一种动物更高等的观念，他现在坚信每个物种都是同样地不可思议，都完美地或近乎完美地符合它的生存环境以及它在其中的角色。对于达尔文来说，这些没有一样可以把上帝的作用排除出去：他相信上帝设计了掌控繁殖的定律，允许物种按照需求去改变自己从而适应环境的变化。

如果上帝创造了可以让物种变得与环境相适应的繁殖定律，那这些定律是什么呢？牛顿通过他的运动数学定律来理解上帝关于物理宇宙的计划；因此，达尔文也这么做了——至少刚开始是这样——去寻找进化的机制，他认为它可以解释上帝关于生命世界的计划。

和牛顿一样，达尔文开始把他的想法和观点记录在一套笔记本中。他分析在旅途中观察到的物种和化石之间的关系；他在伦敦动物园研究一只黑猩猩、一只猩猩以及猴群，记录下它们类似人类的情绪；他研究鸽子、狗和马的饲养员的工作内容，思考他们的“人工选择”方法是如何让动物的特征发生这么大的变化的；并且他还以一种宏大的方式来推测进化是如何对形而上学问题以及人类心理产生影响的。接着，在1838年9月左右，达尔文读到了T. R.马尔萨斯广受欢迎的《人口原理》。这本书让他走上了一条最终发现进化发生过程的道路。

马尔萨斯写的这本书并不让人感到愉悦。在他看来，痛苦才是人类自然和最终的状态，因为人口增长必然会导致对食物和其他资源的激烈竞争。他推断道，由于土地和生产力的限制，这些资源只能以1，2，3，4，5等系列数字“算术地”增加，而每一代人口的数量会按照1，2，4，8，16等级数增长。

今天我们知道一只乌贼一季可以产下3 000枚卵。如果每一枚卵都长成一只乌贼并继续繁殖，到第七代时乌贼的总量可以填满一个掏空的地球；在不到30代的时间，光它们产下的卵就可以填满看得见的宇宙空间。

达尔文并没有那个特别的数据，他也不擅长数学，但他有充足的理由意识到马尔萨斯设想的情况不会发生。相反，他推理道，在自然产生的数量庞大的卵和后代中，竞争只会让极少数——平均来说，那些最能适应的——存活下来。他把这个过程称为“自然选择”，以强调它与饲养员实施的人工选择之间的差别。

后来，达尔文在他的自传中描述了他的顿悟：“它立刻让我想到在这些环境条件下，有利的变化会倾向于被保留下来，而不利的变化则会被消灭。”注 但新观点很少会那么突然地就从发现者的脑子里冒出来，或者完全成型，达尔文的描述似乎是对他后知后觉的幸福曲解。他当时保留的笔记本暴露了一个不同的故事：最初他只是嗅到一种观点的一丝气息，在他把这个观点完全理解清楚并付诸笔端之前，还需要好多年的时间。

自然选择之所以需要一些时间来发展，一个原因是达尔文认识到淘汰每一代中不适应的个体或许会加强一个物种的特征，但它不会创造出新物种——那种和原来的物种如此不同以至于它们无法再进行交配和繁殖有生育能力的后代的个体。如果想让这种情况发生，剔除的现有特征必须要靠一个新特征来源弥补。达尔文最终推论说这来自纯粹的偶然情况。

比如，正常情况下斑马雀的喙从浅白到深红颜色不一。通过精心繁育，人们或许能够培育出偏向一种或另一种颜色的群体，但一只长有新颜色喙的斑马雀——比如蓝色——只能在我们现在称之为基因突变的情况下才会发生：基因结构的偶然改变导致生物产生一种全新的变异形态。

现在达尔文的理论可以最终定型了。随机变化和自然选择一起创造了具备新特征的个体，只要这些特征是有利的，繁殖概率就会增加。这样的结果就是，和饲养员繁育带有他们所需特征的动物和植物一样，大自然也会创造能很好地适应生存环境的物种。

意识到随机性发挥的作用代表着科学发展史上一个重要的里程碑，因为达尔文发现的这种机制使进化论很难再与任何神圣设计的重要观点和解。当

然，进化的概念本身就与《圣经》中的创世故事相抵触，但现在达尔文的特别理论走得更远，使人们很难再为亚里士多德和传统基督教观点做辩护，这种观点认为事件的发展受目的的驱动，而不是中立的物理定律。从这个方面讲，达尔文对于我们理解生命世界所做的贡献就和伽利略以及牛顿曾经对非生命世界所做的贡献一样：使科学从宗教质疑和古希腊传统中摆脱出来。

* * *

和伽利略以及牛顿一样，达尔文是一个有着虔诚宗教信仰的人，因此他的进化理论给他的信仰体系带来了冲突。他试图通过在它们各自的背景下同时接受神学和科学观点来避免冲突，而不是积极地试着去调和它们。然而他还是无法完全回避这个问题，因为在1839年1月他娶了他的表姐埃玛·维奇伍德。埃玛是一个虔诚的基督徒，为他的观点感到不安。“当我死后，”他有一次给她写信说，“我知道我曾经因为这个……痛哭过很多次。”注尽管他们之间存有不同观点，感情却非常深厚，他们终其一生都是一对恩爱夫妻，养育了10名子女。



安妮·达尔文（1841—1851）

尽管关于进化论与基督教的调和问题已经有了很多论述，但正是几年后达尔文第二个孩子安妮在10岁时的离世最终摧毁了达尔文对于基督教的信仰，孩子夭亡对他信仰产生的影响和他在进化论上的工作对他信仰产生的影响一样重大。注安妮的死因并不明确，但高烧和严重的消化问题让她

在临死前忍受了超过一周的痛苦。达尔文之后写道：“我们失去了家中的欢乐，年老时的安慰——她一定知道我们有多么爱她；啊，她此刻一定知道我们现在会，也将永远会深深地、温柔地爱她那亲爱的欢乐的脸庞。”[注]

这对夫妻的第一个孩子在1839年出生。从那时起，一种（直到今天依然）神秘的疾病开始让只有30岁的达尔文感到阵阵乏力。在他余下的人生中，他从家庭和科学工作中获得的快乐将被这种频繁出现的痛苦的无力感打断，这种无力感有时候甚至让他连续几个月都无法工作。

达尔文的症状无处不在，就像《圣经》里的瘟疫一样：胃痛、呕吐、肠胃胀气、头痛、心悸、颤抖、歇斯底里地痛哭、耳鸣、乏力、焦虑以及抑郁。达尔文尝试过多种多样的治疗方法，有的甚至是他在绝望的情况下违背本意接受的：用凉的湿毛巾用力按摩、洗脚、冰敷、冰冷的淋浴、使用电击带进行流行的电疗法、顺势疗法，以及那种维多利亚标准的铋剂——全都不起效。于是这个在20岁时还是一个粗犷的冒险家的人到30岁时已经变成一个离群索居的虚弱病人。

因为新出生的孩子、他的工作以及疾病，达尔文一家开始放弃社交聚会并退出了原来的生活圈子。达尔文的生活变得平静和一成不变。[注]1842年6月，达尔文最终完成了一本35页的进化理论概要；那年9月，他说服父亲借钱给他在肯特郡的唐恩买下一块15英亩的隐居地。唐恩是一个大约有400名居民的教区，离伦敦16英里。达尔文把它称为“世界的最边缘”。[注]他在那里的生活就如同他曾经打算过的一种富裕的乡村牧师的生活一样，到1844年2月，他利用这段宁静的时间把那个概要扩充为一本231页的手稿。

达尔文的手稿更像是一份科学遗嘱，而不是一本为了能够立即出版发行的著作。他在一封信里将它托付给埃玛，万一他“猝死”的话埃玛就可以读到它，由于他的疾病，他担心这将为时不远。在这封信里他告诉她这是他“最郑重也是最后的请求”，并嘱咐埃玛在他死后将这本手稿公之于众。[注]“如果它可以得到哪怕只有一个有资格的鉴定人的认可，”达尔文写道，“它在科学发展史上就是重要的一步。”[注]

达尔文很有理由在他的有生之年不发表他的观点。他已经在科学界最高圈子里获得了显著的声誉，但他的新观点必然会招致批评。并且，他还有很多牧师朋友——更不用说他的妻子了——他们都支持目前的神创论。

达尔文犹豫的理由在那年秋天似乎得到了印证，当时有人匿名发表了一本

名为《自然创造史的痕迹》的书。注这本书并没有提出一个有效的进化理论，但它的确把多个科学观点编织在了一起，包括物种的演变，它成为一本国际畅销书。然而，宗教机构痛斥这位匿名作者。比如，一位评论家指控他“毒害了科学的基础，削弱了宗教的根基”。注科学界的某些人可并不怎么宽容。科学家一直都是一个粗暴的群体。即使到了今天，在便捷的通信和旅行比以往任何时候更能促成更多的合作和共同研究的情况下，提出一种新观点也会让你遭到粗鲁的抨击，因为科学家除了对自己的研究主题和观点充满热情以外，也会狂热地反对他们认为被误导的，或者只是无趣的研究工作。我认识这么一位著名的物理学家，当他认为一位访客讲述的关于他在调查研讨会上的工作不值得关注时，他就会拿出一份报纸，完全摊开，开始看报，毫不掩饰他的无聊。另一位喜欢坐在靠近房间前面的位置，在会谈正在进行时站起来发表他的负面意见，然而转身离开。但我见过的最有意思的展示来自另一位著名的科学家，许多代科学家都非常熟悉他，因为他编写了标准的电磁学研究生教材。

这位教授坐在一个只摆放着十来排椅子的讲座会场的前面，把他的塑料咖啡杯高高举过头顶，然后轻微地来回转动，这样那些坐在他后面的人——而不是他前面一脸茫然的演讲者——就可以看到他用大写字体写在杯子上的信息：胡说八道！接下来，在演讲者完成演讲后，他站起身直接走了出去。讽刺的是，他演讲的主题是“粲（charm）–反粲粒子的光谱学”。尽管“charm”这个词在这里是一个技术术语，和它平常的意思（魅力）无关，但我认为我可以很公正地说这位教授属于“anticharm”（没有魅力）这个类型。然而，如果那就是人们对于一个神秘研究领域里提出的不确定观点的态度的话，你就能想象那些挑战人们普遍看法的“重大观点”将会遭遇到的暴行了。

事实是，尽管宗教的拥护者对于科学新观点的反对已经够多了，但科学家们自己也有一种强烈的反对传统的倾向。这通常是一件好事，因为当一个观点具有误导性时，科学家的怀疑主义就会起到阻止这个领域向着错误方向继续发展的作用。并且，当看到正确的证据时，科学家也会比常人更快地改变看法并接受奇怪的新概念。

尽管如此，改变对于我们所有人来说都是很难接受的，那些成名的科学家投入整个职业生涯来推动一种思维方式向前发展，对于与之相悖的模式的反应有时候是相当负面的。结果，当你提出一种让人吃惊的科学新理论时，你就会遭遇到被别人抨击为不明智、具有误导性或者仅仅是论证不充分的质疑。世上并没有多少万无一失的培育创新的方法，但扼杀创新的一种方法就是让它在挑战公认的智慧时感到不安全。尽管如此，革命性的发展通常就是在这种氛围下完成的。

就进化论来说，达尔文有太多需要担心的东西，比如，他的朋友亚当·塞奇威克对于《痕迹》这本书的反应就证明他的担心不无道理。塞奇威克是剑桥大学一位卓越的教授，曾给达尔文上过地理课。塞奇威克把《痕迹》称为一本“肮脏的书”，并写了一篇85页的言辞激烈的评论。注在让自己受到这样的攻击之前，达尔文还需要收集大量权威的证据来支持他的理论。这种努力将占用他接下来的15年时间，但最终，他将因此而获得成功。

* * *

从19世纪40年代到50年代，达尔文的家庭不断壮大。他的父亲在1848年去世，留给他一笔相当可观的遗产，几十年前当他还在学习医学时就曾猜测过这笔钱的数量——它有5万英镑，相当于今天的上百万美元。他用这笔钱做了明智的投资，变得非常富裕，可以轻松地照料他的大家庭。但他的胃病一直折磨着他，他变得更加离群索居，由于他的疾病他甚至错过了他父亲的葬礼。

与此同时，达尔文继续发展他的观点。他对动物进行研究和实验，比如他同事建议他描写的鸽子，当然，还有那些藤壶。他也拿植物做实验。在一项系列研究中，他对活性种子不可能抵达遥远海岛这种普遍观念进行验证。他从各个角度来研究这个问题：他对已经在盐水中（模仿海水）浸泡过几周的花园种子进行测试；他寻找附着在鸟类腿上以及它们粪便中的种子；他用肚子里塞满种子的麻雀来喂养伦敦动物园里的猫头鹰和鹰，然后检查它们的粪便。他所有的研究全部指向了一个相同的结论：达尔文发现种子比人们想象的还要坚硬和具有移动性。

另一个让达尔文花费相当长的时间来思考的问题是生物的多样性：为什么自然选择会在物种之间产生这么大的差异？在这个问题上，他受到了他那个时代的经济学家的启示，他们经常会提到一种“劳动分工”的概念。亚当·斯密已经证明，如果人们专门从事某一部分的生产，而不是每个人都试着制作一件完整的物品，生产效率会更高。这种概念引发达尔文得出这样一个结论：在一片给定土地上，如果每一个居民都高度擅长开发不同的自然资源，这片土地就可以供养更多的生命。

达尔文预计，如果他的理论是正确的，他就会在那些资源有限但竞争激烈的地方发现更多样化的生命形式，他开始寻找支持或者反驳这种观点的证据。这种思路是达尔文探索进化新方法的典型：当其他博物学家在连接化石和生命形式的系谱图的发展中找寻进化的证据时，达尔文从生活在他这个时代的物种的分布和相互关系中寻找答案。

为了验证这个理论，达尔文不得不向其他人求助。因此，尽管在身体上处于隔绝状态，他还是从很多人那里获得了信息，并且，和牛顿一样，也是

依靠邮政服务——特别是一种新的、价格低廉的“便士邮局”计划，这让他可以建立起一个由博物学家、饲养员和其他能够为他提供关于突变和遗传信息的通信者构成的空前庞大的网络。通过这种方式，达尔文既可以利用他们的实际经验来验证自己的观点，又不会因为暴露自己的根本目的而给自己招来嘲讽。这也同样让他逐渐从他的同事中挑选出谁或许会赞成他的观点，并最终与一个精心挑选的小团体分享他非正统的观点。

到1856年，达尔文已经把他理论的详情透露给了少数几个亲密朋友。这些人包括当时最重要的地质学家查尔斯·赖尔，以及生物学家T. H.赫胥黎，他同时还是世界上最顶尖的比较解剖学家。他的至交们，尤其是赖尔，鼓励他发表他的观点，以免别人捷足先登。此时的达尔文47岁，已经为他的理论工作了18年。

1856年5月，达尔文开始着手处理一篇他原本打算让他的同伴看的技术论文。他决定把它称为《自然选择》。到1858年3月，这本书已经完成了2/3的内容，有25万字。接着在6月，达尔文通过邮件收到了正在远东地区工作的熟人阿尔弗雷德·拉塞尔·华莱士寄来的一份手稿和一封意气相投的附函。

华莱士知道达尔文正在研究一种进化理论，他希望达尔文能够帮他把这份手稿转交给赖尔——一份概述华莱士独立构想出的自然选择理论的论文。和达尔文一样，他的理论也受到了马尔萨斯关于人口的观点的启发。

达尔文惊慌失措。他朋友曾经警告过他的最坏的事情似乎变成了现实：另一位博物学家复制了他著作中最重要的部分。

当牛顿听说类似著作的所有权时会翻脸，但达尔文是一个完全不同的人。他对当前的处境感到十分痛苦，但也没有什么更好的选择。他可以把这篇论文藏起来，或者抢先发表自己的，但那些选择是不道德的；或者他可以帮助华莱士将它发表，放弃自己一生工作的功劳。

达尔文在1858年6月18日将这份手稿寄给了赖尔，并附带了一封信：注

> （华莱士）今天寄给我这封密函，要我把它转交给你。在我看来它很值得一读。你的话出乎意料地变成了现实——我应该抢先发表……我从来没有见过这么惊人的巧合；即使华莱士有我在1842年写出的手稿草稿，他也写不出比这更好的摘要！甚至连他的术语都是我章节的标题。请把这个（手稿）归还给我，他并没有说过希望我将其发表的话，但我当然应该马上写信并把它寄给某家期刊。因此我所有的原创，不管它们有多少，将会被粉碎，尽管我的书——如果它还有任何

价值的话——将不会被低估，因为我所有的劳动成果都存在于这个理论的应用中。我希望你会认可华莱士的草稿，我会把你的话转告给他。

* * *

事实证明，这个理论究竟归功于谁的关键在于达尔文的评论，也就是他的书的价值体现在他详细论述的应用性上。华莱士不仅没有为他的自然选择理论做像达尔文那样详尽的证据研究工作，也没有像达尔文那样仔细分析变化的程度何以会如此巨大以至于产生出新物种，而不只是新的“品种”，即我们今天所说的亚种。

赖尔提出了一个折中的方法：他和达尔文的另一个亲密朋友，植物学家约瑟夫·道尔顿·胡克将会向久负盛名的伦敦林奈学会同时宣读华莱士的论文和一篇达尔文观点的摘要，之后这两份论文将会同时发表在学会的《汇刊》上。当达尔文为这个计划焦虑不安时，时机不可能更糟糕了。不仅因为达尔文的老毛病又发作了，还因为他的老朋友生物学家罗伯特·布朗最近刚刚过世，就连他第10个，也是最小的孩子，只有18个月大的查尔斯·沃宁·达尔文也因为得了猩红热而病得很严重。

达尔文把这件事情交由赖尔和胡克处理，因为他们认为这么做很适合，于是在1858年7月1日，林奈学会的秘书向在场的30多名会员宣读了达尔文和华莱士的论文。他的宣讲既没有招来斥责也没有获得掌声，只有死一般的寂静。接下来又宣读了另外6篇学术论文，为避免有人在读完前5篇之后醒过神来，最后一篇描述安哥拉植物的长篇大作就没有再继续宣读。

华莱士和达尔文都没有出席。华莱士依然还在远东地区，对于伦敦发生的事情毫不知情。当他后来得知此事后，他大度地承认这件事情处理得很公平，他后来对达尔文一直怀有敬意甚至是感激。那个时候达尔文依然还在病中，因此在任何情况下他都很有可能不会去参加这次会议，正如事后证明的那样，在会议进行的时候，他和他的妻子埃玛正把他们第二个夭折的孩子查尔斯·沃宁埋葬进教区的墓地里。

在经过20年发展和支持他理论的辛勤工作之后，林奈学会上的陈述最终使达尔文向公众披露了他的观点。但最直接的反应却至少可以说是虎头蛇尾。在场的所有人都没能理解他们听到的内容的重要意义，林奈学会主席托马斯·贝尔的评论或许最能反映出这种情况，他后来说，他在退场的时候抱怨这一年并没有发生“任何引人注目的，可以立即使，比如，（我们的）科学部发生革命性变化的发现”。注

在林奈学会上陈述之后，达尔文很快就搬家了。在不到一年的时间里，他把《自然选择》变成他的杰作《物种起源》。这本书更简洁，目标是大众读者。他在1859年4月完成了手稿。此时他已经非常疲惫，用他自己的话说，“虚弱得像个孩子”。注

达尔文一直清楚他需要培养一种对他有利的共识，他安排他的发行人穆雷大量赠送这本书，他也亲自给许多收到书的人写言辞谦卑的信。但在写书的时候，达尔文实际上非常谨慎地把有可能出现的神学反对降到最低。他辩解说自然法则统治的世界比一个由随意的奇迹统治的世界更优越，但他依然相信一个遥远的神，在《物种起源》中他尽自己最大的努力避免给公众留下他的理论朝着无神论方向发展的印象。相反，他希望展示的是，自然致力于为生物提供长远福利，按照仁慈的造物主的构想指引物种朝着精神和肉体的“完美”方向发展。

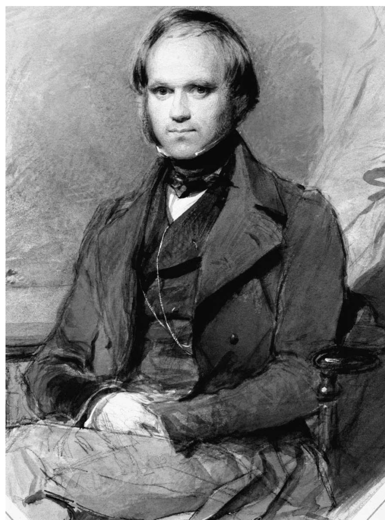
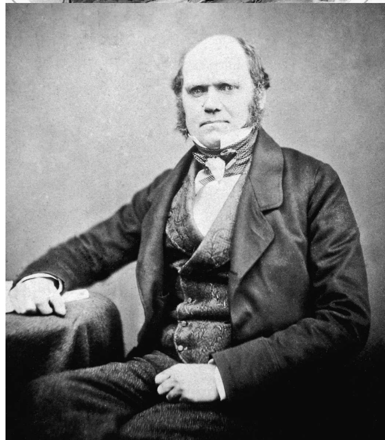
“在这种生命观中存在着一种庄严……”他写道，“当这个星球根据固定的重力定律旋转时……诞生了最初的少数几种或一种生命形式，从如此简单的一个起点发展出了曾经出现过的、现存的，以及不断进化着的无尽无穷的最美丽和最神奇的生命形式。”注

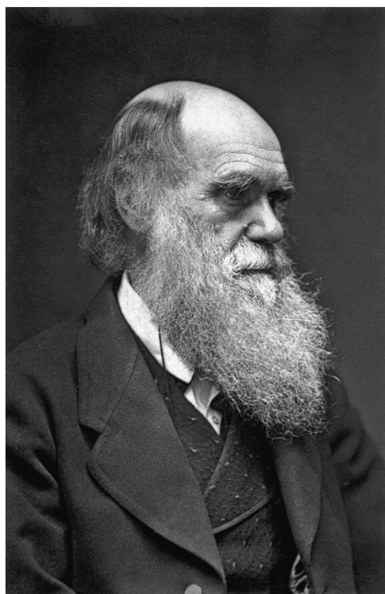
* * *

公众对于《物种起源》的反应并不温和。比如，他在剑桥大学的导师塞奇威克教授写道：“你的这本书带给我的痛苦多过乐趣……有的部分我是带着极度的悲伤读完的，因为我认为它们完全是错误的，是极其恶毒的。”注

尽管如此，凭借着更优越的理论、更有力的证据支持，以及一个相对更成熟的时机，《物种起源》并没有像《痕迹》那样激起极大的愤恨。在10年内，科学家之间的纷争在很大程度上已经平息，到达尔文去世时，也就是他发表作品10年之后，进化论已经成为一种几乎被普遍接受的观点，它也是维多利亚时代最具统治力的思想主题。

达尔文已经是一个备受尊重的科学家了，但随着他作品的出版，他变成了一个公众人物，就像发表了《数学原理》之后的牛顿。达尔文获得了国际范围内的认可和荣誉。皇家学会授予了他享有盛誉的科普利奖章；他被牛津大学和剑桥大学授予荣誉博士的称号；普鲁士国王给他颁发了功绩勋章；他同时还被圣彼得堡的帝国科学院和法国科学院选举为通信院士；他被莫斯科的帝国博物学者学会授予荣誉会员身份，英国教会授予他南美传教士学会会员身份。



19世纪30、50和70年代的达尔文

和牛顿一样，达尔文的影响力远远超出了他的科学理论，它包含了对于和生命完全无关部分的新思维方式。正如一群历史学家写的那样，“不管在哪里，达尔文学说已经变成了自然主义、唯物主义，或者进化哲学的代名词。它代表着竞争与合作，解放与附属，进步与悲观，战争与和平。它的政治观点可以是自由主义者的、社会主义者的，或者保守主义者的，它的宗教信仰可以是无神论的或者正统信仰的”。注

然而，从科学角度出发，达尔文的工作和牛顿的一样，仅仅是一个开始。他的理论提出了一种基本原理，这种原理决定了物种在面对环境压力时它们的特征随着时间发生改变的方式，但那个时候的科学家对于遗传背后的作用机制依然一无所知。

有趣的是，正当达尔文的作品在林奈学会展示时，一位生活在布尔诺（如今捷克共和国的一部分），名叫格里哥·孟德尔（1822—1884）的科学家和修道士正在进行一项为期长达8年的实验计划，这项实验将至少在抽象意义上表明遗传背后的机制。注他指出，简单的特征由两种基因决定，父母各贡献其中一个。但孟德尔的工作要很久后才会普及，达尔文从来没有听说过关于它的消息。

在任何一种情况下，对孟德尔机制的物质实现方法的理解都将需要20世纪物理学的进步——特别是量子理论和它的产品，例如X射线衍射技术、电

子显微镜，以及晶体管的发明使数字计算机成为可能。这些技术将揭示DNA分子和染色体的结构细节，使人们可以在分子层面上对遗传学进行研究，最终使科学家开始理解遗传和进化发生的基本要素。

然而，即使如此，这也仅仅是一个开端。生物学试图从各个层面来理解生命，直至细胞内的结构和生化反应——细胞是生命的标志，是我们携带的遗传信息最直接的结果。这个目标和生命逆向工程同样宏大，毫无疑问——就像物理学家的大一统理论一样——还在遥远的未来。但无论我们对于生命机制的理解有多深刻，生物学的核心组织原理将很有可能一直停留在19世纪这个顿悟上，即进化的理论。

达尔文自己并不是适者生存的样本，但他活了很久。晚年，他的慢性健康问题得到了改善，虽然他开始感到持续性的疲惫。即使如此，他依然工作到了生命的终点，在1881年他发表了最后一篇论文《腐殖土的产生与蚯蚓的作用》。那年晚些时候，他在锻炼时开始感到胸痛，在圣诞节期间他心脏病突然发作。接下来的那年春天，他的心脏病在4月18日又发作了一次，他很难再恢复意识。他喃喃自语说他并不害怕死亡，几个小时之后，大约在第二天凌晨4点，他死了。他去世时73岁。在他所写的最后的信件中，有一封是写给华莱士的，他在信里说："我拥有的一切都让我感到幸福和满足，但生命已经变得非常让人厌倦。"注

---

1. 一位来自爱丁堡，名叫罗伯特·钱伯斯的流行期刊发行人在1884年被正式指认为这本书的作者，此时他已经去世13年了，但达尔文曾经猜测钱伯斯是在1847年同他会面之后写出的这本书。

2. Anthony Serafini,*The Epic History of Biology* (Cambridge, Mass.: Perseus,1993), 126.

3. E. Bianconi et al., "An Estimation of the Number of Cells in the HumanBody,"*Annals of Human Biology* 40 (November–December 2013): 463–71.

4. Lee Sweetlove, "Number of Species on Earth Tagged at 8.7 Million,"*Nature,*August 23, 2011.

5. "The Food Defect Action Levels," Defect Levels Handbook, U.S. Food andDrug Administration, accessed October 28, 2014, http://www.fda.gov/food/guidanceregulation/guidancedocumentsregulatoryinformation/ucm056174.htm.

6. Ibid.

7. “Microbiome: Your Body Houses 10x More Bacteria Than Cells,”*Discover,*n.d., accessed October 28, 2014, http://discovermagazine.com/galleries/zen-photo/m/microbiome.

8. For Aristotle’s work on biology, see Joseph Singer,*A History of Biology toAbout the Year 1900* (New York: Abelard-Schuman, 1959); Lois Magner,*AHistory of the Life Sciences,* 3rd. ed. (New York: Marcel Dekker, 2002).

9. Paulin J. Hountondji,*African Philosophy,* 2nd ed. (Bloomington: IndianaUniversity Press, 1996), 16.

10. Daniel Boorstin,*The Discoverers* (New York: Vintage, 1983), 327.

11. Magner,*History of the Life Sciences,* 144.

12. Ruth Moore,*The Coil of Life* (New York: Knopf, 1961), 77.

13. Tita Chico, “Gimcrack’s Legacy: Sex, Wealth, and the Theater ofExperimental Philosophy,”*Comparative Drama* 42 (Spring 2008): 29–49.

14. For Leeuwenhoek’s work on the microscope, see Moore,*Coil of Life*.

15. Boorstin,*The Discoverers,* 329–30.

16. Moore,*Coil of Life,* 79.

17. Boorstin,*The Discoverers,* 330–31.

18. Moore,*Coil of Life,* 81.

19. Adriana Stuijt, “World’s First Microscope Auctioned Off for 312,000 Pounds,”*Digital Journal,* April 8, 2009, accessed November 7, 2014, http://www.digitaljournal.com/article/270683; Gary J. Laughlin, “Editorial: Rare Leeuwenhoek Bids for History,”*The Microscope* 57 (2009): ii.

20. Moore,*Coil of Life,* 87.

21. “Antony van Leeuwenhoek (1632– 1723),” University of California Museum of Paleontology, accessed October 28, 2014, http://www.ucmp.berkeley.edu/history/leeuwenhoek.html.

22. For Darwin’s life, I relied largely on Ronald W. Clark,*The Survival of*

Charles Darwin: A Biography of a Man and an Idea (New York: RandomHouse, 1984); Adrian Desmond, James Moore, and Janet Browne,*Charles Darwin* (Oxford: Oxford University Press, 2007); and Peter J. Bowler,*Charles Darwin: The Man and His Influence* (Cambridge, U.K.: CambridgeUniversity Press, 1990).

23. "Charles Darwin," Westminster Abbey, accessed October 28, 2014, http://www.westminster-abbey.org/our-history /people/charles-darwin.

24. Clark,*Survival of Charles Darwin,* 115.

25. Ibid., 119.

26. Ibid., 15.

27. Ibid., 8.

28. Charles Darwin to W. D. Fox, October 1852, Darwin Correspondence Project, letter 1489, accessed October 28, 2014, http://www .darwinproject.ac.uk/letter/entry-1489.

29. Clark,*Survival of Charles Darwin,* 10.

30. Ibid., 15.

31. Ibid., 27.

32. Bowler,*Charles Darwin: The Man,* 50, 53–55.

33. Charles Darwin to W. D. Fox, August 9–12, 1835, Darwin Correspondence Project, letter 282, accessed October 28, 2014, http:// www.darwinproject.ac.uk/letter/entry-282.

34. Desmond, Moore, and Browne,*Charles Darwin,* 25, 32–34.

35. Ibid., 42.

36. Bowler,*Charles Darwin,* 73.

37. Adrian J. Desmond,*Darwin* (New York: W. W. Norton, 1994), 375–85.

38. Charles Darwin's memorial of Anne Elizabeth Darwin, "The Death of Anne Elizabeth Darwin," accessed October 28, 2014, http:// www.darwinproject.ac.uk/death-of-anne-darwin.

39. Desmond, Moore, and Browne,*Charles Darwin,* 44.

40. Ibid., 47.

41. Ibid., 48.

42. Ibid., 49.

43. Anonymous [David Brewster], “Review of *Vestiges of the Natural History of Creation*,” *North British Review* 3 (May–August 1845): 471.

44. Evelleen Richards, “‘Metaphorical Mystifications’: The Romantic Gestation of Nature in British Biology,” in *Romanticism and the Sciences,* eds. Andrew Cunningham and Nicholas Ardine (Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1990), 137.

45. “Darwin to Lyell, June 18, 1858,” in *The Life and Letters of Charles Darwin, Including an Autobiographical Chapter,* ed. Francis Darwin (London: John Murray, 1887), available at http://darwin-online .org.uk/ converted/published/1887_Letters_F1452/1887_Letters_F1452.2 .html, accessed October 28, 2014.

46. Desmond, *Darwin,* 470.

47. Desmond, Moore, and Browne, *Charles Darwin,* 65.

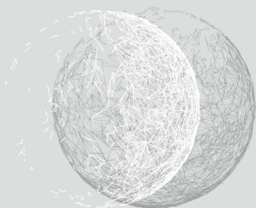
48. Bowler, *Charles Darwin,* 124–25.

49. Clark, *Survival of Charles Darwin,* 138–39.

50. Desmond, Moore, and Browne, *Charles Darwin,* 107.

51. See Magner, *History of the Life Sciences,* 376–95.

52. Darwin to Alfred Russel Wallace, July 1881, quoted in Bowler, *Charles Darwin,* 207.



第三部分 超越感官

这可能是活着的最好时代，因为几乎所有你认为你知道的东西都是错的。

——汤姆·斯托帕德，
《世外桃源》，1993

10.人类体验的极限

200万年前，当人类学会把石头做成切割工具时，我们实现了第一个伟大的创新。那是我们利用自然来为自己的需求服务的初次体验，实际上自此以后没有什么发现能像它这样代表着更伟大的顿悟或者使我们的生活方式发生更大的改变。但在100年前，另一个发现具备了同等的力量和重要性。和使用石质工具一样，它与某种普遍存在的东西相关，自古以来，这种东西一直就在我们眼前，尽管我们看不见它们。我说的是原子——以及主宰它的奇特的量子定律。

很明显原子论就是理解化学的钥匙，但通过研究原子世界获得的见解也使物理学和生物学发生了革命性的改变。因此，当科学家接受了原子存在的事实并开始诠释它的运作方式时，得出了改变社会的宏大见解，使人类了解到了自然的基本作用力和粒子以及生命的DNA和生化科学，同时也创造了塑造现代世界的新技术。

人们经常会提及科技革命、计算机革命、信息革命以及原子时代，但所有这些最终都可以归结为一件事：把原子变成一种工具。今天我们操控原子的能力使一切都成为可能，从电视机到传输电视信号的光纤电缆，从电话到电脑，从互联网技术到核磁共振仪。我们甚至可以使用原子知识去创造光——比如荧光灯，当原子中的电子被激发时就会发光，“量子跃迁”到更低的能级。今天，甚至我们最普通的家用电器——烤箱、钟表、自动调温器——都有基于对量子的理解而设计出的配件。

引领我们理解原子的功能和原子世界的量子定律的伟大革命可追溯至20世纪初期。多年以前，人们就已经注意到我们今天称之为“经典物理学”（基于牛顿运动定律，而不是量子理论的物理学）的理论无法解释一种叫作黑体辐射的现象，我们现在知道这种现象由原子的量子性质决定。牛顿理论的那个孤立的失败并没有马上被视为一种警示。相反，人们认为物理学家只不过是对如何利用牛顿定律来解决这个问题还有些迷惑而已，当他们想明白该怎么做之后，黑体辐射就可以在经典理论框架内被理解了。但物理学家最终又发现了其他同样无法用牛顿理论来解释的原子现象，他们最终意识到必须推翻牛顿理论的大部分内容，就像牛顿之前的数代人不得不推翻亚里士多德的理论一样。

量子革命是一场持续了20年的斗争。这种革命用了20多年就取得了胜利，而不是几个世纪或者上千年的时间，这只不过证明了有更多的科学家在解决这个问题，而不是表明新思维方式更容易被人们接受。实际上，量子理

论背后的新原理在某些群体中依然是一个活跃的讨论话题。因为对于那些像爱因斯坦一样鄙弃偶然因素在事件结果中发挥作用的人，或者那些相信惯常的因果关系定律的人，那20年后世界所呈现出的景象就是异端。

* * *

在量子宇宙中因果关系这个棘手的问题直到量子革命行将结束时才会出现，我们之后将会讲到它。但还有另一个既具有哲学意味同时也很实际的问题从一开始就是一个障碍：原子小到无法被看见，或者甚至单独地被测量——直到20世纪晚期科学家才第一次“看到”一个分子的图像。注 因此，在19世纪，所有和原子有关的实验至多只能够揭示那些数量庞大的微小的不可见物体的平均行为产生的现象。无法观察的物体是真实的，这种想法合理吗？

尽管有道尔顿关于原子的著作，但没有几个科学家会这么认为。化学家使用这种概念是因为它能够帮助他们理解他们观察和测量到的现象，但即使是他们也倾向于仅仅把它当作是一种有用的假设：例如，化学反应的过程就像组成化合物的原子的重组。其他人则认为原子的概念更适合哲学，而不是科学，并试图完全摈弃这种概念。德国化学家弗里德里希·威廉·奥斯特瓦尔德说它们是“得不出可证实的结论的假定推测”。注

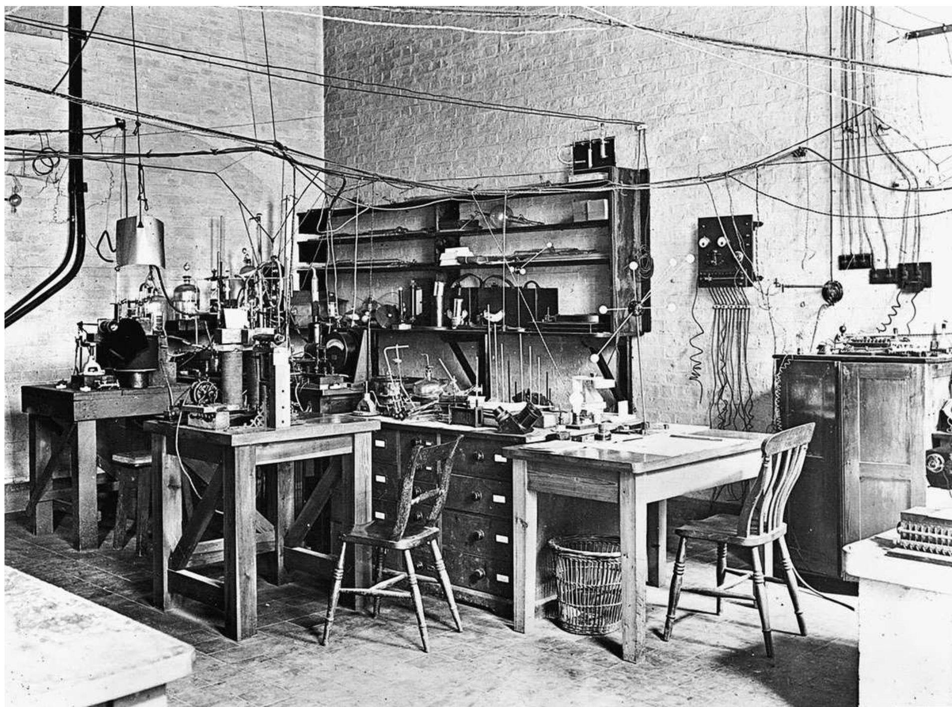
这种犹疑可以理解，因为几个世纪以来，科学和哲学就是在自然概念是否一定要得到实验和观察的支持这个问题上渐行渐远的。通过坚持把实证当作是接受任何假设的标准，科学家得以抛弃那些要么经不起验证——就像亚里士多德的很多理论在经过验证后证明的那样——要么完全就是错误的古代推测。它们的位置被可以做出精确量化预测的数学定律取代。

原子的存在无法被直接验证，但关于原子存在的假设却能够推导出可被检验的定律，并且这些定律还被证明有效——比如，我们可以使用原子概念以数学方式得出气体中温度和气压之间的关系。因此，原子可以用来做什么呢？这就是那个时代的元问题。答案并不清晰，结果，在19世纪的大部分时间里原子就像是一个伏在物理学家肩头的无形鬼魂，在他们的耳边悄悄诉说着自然的秘密。

原子的问题最终获得了有力的解答，到今天它根本不再是一个问题：科学如果想要进步，我们知道它的关注点必须超出我们直接的感官体验。到21世纪初期，我们已经完全接受了这个看不见的世界的存在，甚至发现著名的“希格斯玻色子”的消息被宣布时也没人感到讶异，即使没有人亲眼看见过希格斯玻色子，甚至没有观察过希格斯玻色子与某些使它们可以间接地被看见的仪器相互作用时产生的有形结果——这种方式就像是电子通过撞

击荧光屏使它发光从而可以被“看见”一样。

相反，证明希格斯玻色子存在靠的是数学证据，它是依据电子数据的某种数字信号特征推论出来的。超过300万亿次质子与质子的碰撞产生“碎片”——例如辐射，然后再使用36个国家的将近200台计算设备对这些碎片进行统计学分析才能得到这个数据。今天，当一个物理学家说，“我见到希格斯玻色子了”，他指的就是这种手段。





1926年研究物质基本粒子的物理实验室，以及今天的实验室［白色圆圈标注的是加速环所在的位置，周长达17英里（27.36千米），位于地下数百英尺］

随着科学家利用类似的方式“看见”希格斯玻色子和其他亚原子粒子，曾经不可分割的原子现在看来更像是一个完整的物体宇宙，一滴水中就存在着无数个这样的宇宙，如此微小的世界我们不仅看不见，它们还与人类的直接观察相隔十万八千里。所以，你就别再想你可以向一个19世纪的物理学家解释希格斯玻色子理论，你甚至都很难向他解释清楚你说的我们“看见”是什么意思。

这种脱离了人类感官体验的新式观察方法创造了对科学家的新需求。牛顿的科学基于通过感官被感知到的东西，或许也会用到显微镜或望远镜，但它依然需要人在装置后面进行观察。20世纪的科学依然专注于观察，但它接受了一个更为宽泛的“看见”的定义，这其中就包括间接的统计学证据，例如希格斯玻色子那样的数据。由于这种对“看见”的定义的新态度，20世纪的物理学家不得不在头脑中想象出与理论相符的画面，这些理论涉及像量子这样奇异的前卫概念，这样的概念植根于抽象的数学原理，远远超出了人类的体验。

从事物理学研究的新方式反映在了不断增加的物理学家分类上。一方面，晦涩难解的数学在物理学理论中的作用不断加大，另一方面，实验的技术复杂度也在急速增加，促使实验物理学和理论物理学正式地专业化。大约在同一时期，视觉艺术也以一种相似的方式发展着，导致了传统的具象派艺术家和立体派以及抽象派先驱的分离，像塞尚、布拉克、毕加索以及康定斯基这样的先锋艺术家和新的量子理论家一样，也以一种激进的新方式来“看”世界。

在音乐和文学领域也是如此，一种新精神开始挑战19世纪欧洲那种根深蒂固的刚性规范。斯特拉文斯基和勋伯格开始质疑西方传统音调和韵律的设定；乔伊斯和伍尔芙及其在欧洲大陆的同行以一种新的叙事结构进行实验。1910年，哲学家、心理学家和教育家约翰·杜威写道，批判性思想通常涉及“忍受一种精神上的动荡和纷扰的意愿”。[注]这不仅对批判性思想适用，也可以应用到创意工作中。无论从事艺术还是科学研究，这些开拓者没有一个可以轻松地获得成功。

* * *

我刚才描绘的关于20世纪初期科学的画面靠的是事后诸葛的优势。19世纪晚期研究原子的物理学家并没有意识到即将发生什么事情。实际上，现在回过头再去看时，我们会惊讶地注意到，尽管原子这颗定时炸弹就放在家门口，但那些物理学家却认为在他们的研究领域所有的问题差不多都已经被解决了，他们还建议年轻的学生别去学物理学，因为这里已经没有什么让人兴奋的东西了。

比如，哈佛大学系主任就以吓跑未来的学生而闻名，他告诉他们所有重要的东西都已经被发现了。在大洋彼岸，慕尼黑大学物理系主任在1875年就提醒说这个领域不值得进行研究了，因为“物理学这一知识的分支即将完善”。[注]就预知能力而言，这个建议与泰坦尼克号建造者的豪言壮语不相上下，他宣称这艘船“近乎人脑能设计出的最完美的杰作”。1900年左右的物理学就像泰坦尼克号一样，也被认为是无懈可击的，然而那个时代的物理学注定会沉没。

马克斯·普朗克（1858—1947）是其中一个听到慕尼黑大学物理系主任那毫无价值可言的建议的学生。[注]当时的普朗克是一个清瘦到近乎憔悴的年轻人，他戴着厚厚的眼镜，很早之前发际线就开始后退，浑身上下都散发出与他年龄不相称的严肃气质。他出生在德国的基尔，祖上曾出过多位牧师、学者和法学家，他是19世纪物理学家的完美样板：勤奋、尽责，按照他自己的说法，“不愿意参与可疑的冒险”。[注]你很难想象一个未来某

天将颠覆牛顿理论的人会说出这样的话，但普朗克并没有引发一场革命的计划。实际上，他在很多年里甚至都没有支持由他的发现点燃的运动。

尽管不愿冒险，普朗克却以冒险开始了他的职业生涯——他没有理会系主任的建议，报名学习了物理学课程。他受到一位高中教师的启发而研究物理学，这位教师赋予他一种激情去“研究在严谨的数学和多种自然定律之间存在的和谐”，他也有足够的自信心去追逐他的激情。[注]多年以后，他将告诉他的一个学生：“我的座右铭永远都是：提前仔细思考每一步，但接下来，如果你相信自己可以承担这份责任，不要让任何东西阻止你。”[注]这份声明并没有耐克经典广告语“想做就做”的那种气势，或者我们习惯从体育明星那里听到的无畏宣言，但按照他自己的方式，安静和传统的普朗克发出的声音具有同样的内在力量。

在做出了投身物理学研究的决定之后，普朗克不得不为他的博士研究选择一个课题。他又一次做出了一个大胆且关键的决定。他选择研究热力学——关于热量的物理学。在当时这是一个相当冷门的物理学领域，但正是这个领域在他上高中时启发了他，普朗克再一次根据自己的兴趣而不是那些热门的研究课题做出了选择。

当时，少数几个接受原子概念的科学家开始以个体原子运动的统计结果来理解热力学背后的工作原理。比如，如果某个时间在一个房间的某个狭小区域聚集了一团烟雾，热力学告诉我们一段时间之后它将扩散开来，而不是变得更集中。这个过程为物理学家所说的“时间之箭”下了定义——未来是烟雾扩散的时间方向，而过去是烟雾集中的方向。这是一个让人费解的定义，因为适用于烟雾（以及空气）的每个原子个体的运动定律并没有指出哪个时间方向是未来，而哪个又是过去。但这种现象可以通过原子的统计学分析加以解释：只有当你观察到许多原子的累积效果时“时间之箭”才会变得明显。[注]

普朗克并不喜欢这种类型的论证方法。他把原子视为一种幻想，并把在不借助原子概念的情况下——实际上，不对物质内部结构做任何假设——从热力学原理中提炼出具体的，经得起检验的结果作为自己博士研究的目标。“尽管原子理论到目前为止取得了伟大的成功，”他写道，“但最终人们将不得不为了支持连续物质的假设而抛弃它。”[注]

普朗克是先知吗？不是。最终被抛弃的并不是原子理论，而是他对原子理论的抵触。实际上，他的工作最终将被用来作为支持，而不是反对原子存在的证据。

由于我的名字很难拼写和发音，所以当我在餐厅预订座位时，我总是把它订在马克斯·普朗克的名下。这个名字被认出的概率很小，但有一次它被认出来了，当时我被问起是否和“那个发明了量子理论的家伙”是亲戚，我回答说：“我就是那个人。”那个二十出头的领班并不相信我。他说我太年轻了。“量子理论是1960年左右被发明的，”他说，“那是在‘二战’期间，是曼哈顿计划的一部分。”

我们并没有继续聊下去，但我原本想聊的问题并不是他对于历史的一知半解，而是他没有把“发明”理论这句话在物理学中的意义弄清楚。“发明”这个词的意思是创造某种之前并不存在的东西；从另一方面讲，“发现”的意思是开始了解某种之前无人知晓的东西。人们可以用任意一种眼光来看待理论——以科学家发明的描述世界的数学结构，或者以独立于我们存在的自然定律的表述，而这些表述是科学家发现的。

这在某种程度上是一个形而上学的问题：我们应该以何种程度接受我们的理论描绘的画面呢？是以真实的现实（我们发现的）还是仅仅以世界的模型（我们发明的）？因为这个世界同样可以被其他方式塑造成其他模型，比如那些和我们的思维方式不同的人类（或者外星人）。先把哲学思考放在一边，发明和发现之间还有一点区别，与过程有关：我们通过探索来发现，经常还是在偶然情况下；我们通过有计划地设计和建造来发明，意外因素在其中发挥的作用比实验和试错的作用要小得多。

当爱因斯坦构想出相对论时，他当然知道他想要做什么，并这么做了，因此人们或许会把相对论称为一种发明。但量子理论就不同了，在量子理论发展的每一个步骤中，“发现”甚至“无意中发现”通常是一个比“发明”更好的表述方法，正如普朗克的情况一样，（许多）发现者无意中发现的东西与他们希望和期待发现的东西截然相反——就好像爱迪生原本打算发明人造光，而不是发现人造黑暗。并且，就像普朗克的命运一样，他们有时候并不是十分了解他们工作的意义，当有人向他们解释它时，他们甚至会驳斥它。

普朗克在1879年关于热力学的博士论文中既没有成功地证实原子的存在，也没有证实原子不存在。甚至更糟的是，这让他在职业发展上毫无建树。他在慕尼黑的教授并不理解它；柏林一位名叫古斯塔夫·基尔霍夫的热力学专家认为它是错误的；另外两位这个领域的创始先驱赫尔曼·冯·亥姆霍兹和鲁道夫·克劳修斯婉拒了审阅它的请求。在这两封信没有收到答复之后，普朗克甚至千里迢迢地跑到波恩，亲自去克劳修斯的家里拜访，但这位教授拒绝接见他。不幸的是，除了这几位物理学家，在谈到热力学时，就像普朗克的一位同事说的那样，“没有人……对它有任何兴趣”。”

缺乏兴趣并没有使普朗克感到不安，但它的确导致了一段凄惨岁月，在此

期间他和他的父母生活在一起，在大学里担任没有报酬的讲师，就像门捷列夫那样靠着直接从上他课的学生那里收取课时费过活。

无论我什么时候同其他人说起此事，我都会看到惊讶的表情。因为某种原因，人们认为只有艺术家对艺术才有这样的热爱，他们甚至愿意做出任何牺牲，生活在最简陋的阁楼里，甚至最糟糕的情况，和父母生活在一起，才能继续从事他们的创作也在所不惜；但人们并不认为物理学家会有那样的激情。然而，我在研究生院认识几个学生，他们像普朗克一样面临着失败。悲哀的是，其中一个试图自杀。另一个说服哈佛大学物理系，允许他在拥挤的办公室的一张桌子上工作，不拿报酬。（一年之后，他们聘用了他。）第三个家伙，这个人我并不认识，几年之前因为考试不及格而退学，从此之后就给各个教员提交他心爱（但错得没边儿）的理论，这些理论都无人理会，接着在某一天他突然出现了，决定要说服他们——通过挥舞一把刀。他被保安拦住，再也没有回来。流行的传说不会讲述孤独的、不被赏识的物理学家割下自己一只耳朵的著名故事，但在我作为伯克利分校一名研究生的三年时间里，这三个故事，每一个都出于对物理学的激情。

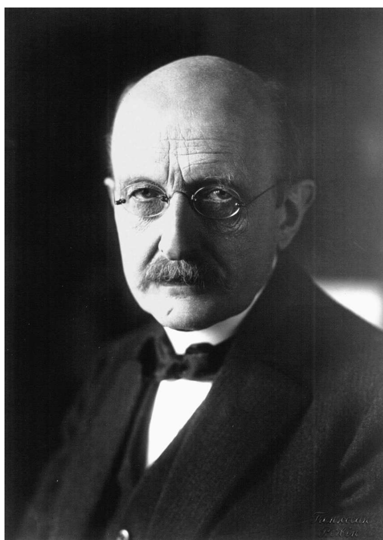
普朗克，就和我那位在哈佛的无业研究生朋友一样，在他担任“志愿者”期间完成了足够优秀的研究，他最终找到了一份有报酬的工作。这花了5年时间。最终，凭借着纯粹的毅力、运气，以及——某些人说的——他父亲的干预，他艰难地在基尔大学得到了一个教授职位。在这之后的4年，他做出了让人印象深刻的工作，最后被招入柏林大学，他在1892年被提名为柏林大学的全职教授，这使他成为热力学精英团队的一分子。但这仅仅是一个开始。

* * *

在柏林，普朗克的研究热情依然完全专注于在不“求助”原子概念的背景下去理解热力学——也就是说，在这种背景下，物质被认为是“可无限分割的”，而不是由分散的模块组成的。在他心目中，这是否可以完成是所有物理学研究领域中最亟待解决的问题，并且，由于身处学术圈，普朗克没有老板来告诉他——至少直接地告诉他——这行不通。这是一件好事，因为他的思路与物理学主流相去甚远，在1900年夏天，就在他即将宣布他那震惊世界的突破之前的几个月，在巴黎举行的国际物理学大会上，官方历史学家表示除了普朗克，世界上至多还有3个人认为这是一个值得研究的问题。在他提交论文21年之后，情况看上去似乎并没有得到改观。

就和所有其他领域一样，在科学领域，有太多普通的人提出普通的问题，他们中的很多人也会做得不错。但最成功的研究人员通常是那些提出古怪问题的人，这些问题没有人想过，或者被其他人认为没有意思。因为他们

引出的麻烦，这些人会被看作是异类、怪人，甚至是疯子——直到他们被认为是天才的那一天。



马克斯·普朗克，约1930年

当然，假如有一位科学家问："太阳系是在一只巨大的麋鹿的背上吗？"他也算得上是一位具有独到见解的思想家——我猜就像那位我在上文中提到的挥舞刀子的人。因此，如果见到一群自由思想家，你必须要慎之又慎，在这里有一个问题：有些人的观点只是怪异，而有些人的观点虽然怪异但却是正确的，人们通常很难将这两者区分开来。或者有的怪异观点或许在经历了一段时间以及许多失误之后注定将引导出某些真理。普朗克就是一位具有独到见解的思想家，他提出的问题甚至在他的物理学同事看来似乎也是缺乏趣味的。但它们将被证明是经典物理学无法解答的问题。

18世纪的化学家曾在研究气体时发现一种罗塞塔石碑注，这是理解重要科学原理的关键。普朗克试图在黑体辐射中寻找他自己的罗塞塔石碑，黑体辐射是古斯塔夫·基尔霍夫在1860年发现并命名的一种热力学现象。时至今日，"黑体辐射"是物理学家很熟悉的一个术语：它是维持在某个固定温度的黑体释放的一种电磁辐射形式。

"电磁辐射"听上去很复杂，似乎也很危险，好像无人机向基地组织营地发射的某类东西。但它指的是一大类能量波——比如微波、电磁波、可见光和紫外线、X射线，以及伽马射线——这些东西如果善加利用，可以产生很多实际效用，其中有一些是致命的，但全都是我们一直等闲视之的世界的一部分。

在基尔霍夫那个时代，电磁辐射这种概念依然很新鲜和神秘。描述它的理论——在牛顿定律的背景下——来自苏格兰物理学家詹姆斯·克拉克·麦克斯韦。麦克斯韦直到今天仍然被视为一个物理学界的英雄人物，在大学校园中经常可以看到物理学专业的学生穿着印有他头像或者公式的T恤衫。人们之所以如此崇拜他，是因为他在19世纪60年代完成了物理学历史上最伟大的统一：他解释了电力和磁力是同一种现象——“电磁场”——的表现形式，并且揭示出光和其他形式的辐射是电磁波。对一个物理学家来说，像麦克斯韦那样深入地阐述不同现象之间的联系是一个人能做的最令人兴奋的事情之一。

未来某天会有一个麦克斯韦脱颖而出，这曾经是牛顿的希望和梦想，因为牛顿知道他的理论并不完善。他的运动定律可以解释物体如何对作用力做出反应，但要想使用这些定律，它们还需要独立的作用力定律作为补充，这种定律描述了施加在物体上的是哪种作用力。牛顿提出了一种作用力定律——引力——但他知道世界上一定存在着其他类型的作用力。

在牛顿之后的世纪里，其他两种自然界的作用力逐渐在物理学中被发现：电力和磁力。凭借着对这些作用力提出一种量化理论，麦克斯韦在某种意义上完成了牛顿的（例如：“经典的”）计划——除牛顿运动定律之外，科学家现在拥有所有出现在我们日常生活中的作用力的理论。（在20世纪，我们还将发现另外两种作用力，“强力”和“弱力”，它们对我们日常事物产生的影响尚不明朗，但它们会在原子核的微小区域内发挥作用。）注

早先时候，通过使用牛顿引力定律和运动定律，科学家只能描述引力现象，例如行星的轨道和炮弹的弹道。现在，通过联合使用麦克斯韦的电磁作用力理论和牛顿运动定律，物理学家可以在一个更大的范围分析全新的现象，例如辐射和它与物质间的相互作用。实际上，物理学家相信有了麦克斯韦理论作为他们的后备武器，他们可以从原理上解释我们在世界上看到的任何一种自然现象——这就是19世纪晚期在物理学领域泛滥的乐观主义。

牛顿曾写道，世界上存在着“某种作用力，物体的粒子通过它，出于某种迄今未知的原因，要么相互吸引聚成规则的形状，要么相互排斥彼此远离”。注他相信这些引起了“局部的运动，但由于移动粒子的体积极其微小而无法被察觉……（但是）如果有人有足够好的运气能够发现所有这些，我或许可以说他将揭示物体性质的全部秘密”。注物理学家利用电磁学发现的东西实现了理解作用于物体微小粒子——原子——之间的作用力的梦想，但牛顿的梦想，即他的理论因此将能够解释物体材料的性质，将永远不可能变成现实。为什么呢？因为尽管物理学家已经发现电磁作用力定律，但当把这些定律应用于原子时，牛顿的运动定律将被发现无效。

尽管在当时没有人意识到这一点，但牛顿物理学的缺陷正是在普朗克选择研究的现象上暴露无遗：黑体辐射。因为当物理学家使用牛顿物理学来计算黑体在不同频率下会释放出多少辐射时，这些运算不仅被证明是错误的，还产生了一个荒谬的结果，那就是一个黑体会释放出无限量的高频辐射。

假如那些运算是正确的，黑体辐射现象将意味着当你坐在暖和的壁炉前或打开烤箱时，你不只是沐浴在低频红外辐射带来的温暖里，或者某些高频红光产生的使人慰藉的暖意中，它还意味着你将遭到危险的高频紫外线、X射线以及伽马射线的伤害。并且，当时新发明的电灯泡也将被证明不是一种有用的人造照明工具，而是一种——由于它们升高的工作温度产生的辐射——大规模杀伤性武器。

当普朗克开始在这个领域的工作时，尽管所有人都知道黑体辐射运算的结果是错误的，但没有人知道原因是什么。同时，当大多数对这个问题感兴趣的物理学家绞尽脑汁思考它时，少数几个人开始专注于发明各种专门的数学公式来表述在实验中观察到的现象。这些公式为每一种频率计算出了任意给定温度的黑体释放出的辐射强度，但它们仅仅具有描述性，并不是从一个理论性的理解中推导出来的，发明它们只是为了得出必要的数据，并且所有频率的数据都是不精确的。

普朗克在1897年开始迎接这个挑战，试图为黑体释放的辐射提供一个精确描述。和其他人一样，他并没有怀疑牛顿物理学出了什么问题，而是认为黑体材料的物理描述一定存在根本性的错误。很多年过去了，他依然毫无进展。

最终，他决定从反方向开始工作，和那些应用物理学家一样，去找一种有用的公式。他重点关注两种专门公式——一种是对黑体辐射释放的低频光的精确描述，另一种是对高频光的描述。经过大量的实验和试错，他终于把它们“缝合”进了自己的专门公式中，这是一种简明的数学表达，他只是简单地将两者的正确特征组合起来而已。

你或许会认为如果你花费了数年时间来解决一个问题，最终就应当获得一个重大发现——例如微波炉，或者至少一种新式的做爆米花的方法。普朗克得到的是一个似乎——因为某种未知原因——非常管用的公式，尽管普朗克没有足够的数据来对公式的预测能力做一次详尽的检测。

普朗克在1900年10月19日参加柏林物理学会的一次会议时宣布了他的公式。会议一结束，一位名叫亨里奇·鲁本斯的实验家马上回到家里，以他自己的大量数据作为参照开始套用数字来核对这个公式。他的发现让他惊讶不已：普朗克公式的精确度超乎想象。

鲁本斯异常激动，他甚至一直工作到深夜，不辞辛苦地使用普朗克公式为不同的频率计算数据，然后用计算结果同他的观察记录做比照。第二天早上，他匆忙赶到普朗克的家里告诉他这个惊人的消息：一致性异常地好，对所有频率都是如此。普朗克公式精确得简直不像是一个专门的猜想，它一定意味着什么。唯一的问题是普朗克和其他人都不知道这意味着什么。它似乎像魔术，一个可能含有深刻和神秘原理的公式却是依靠纯粹的猜测“得出来的”。

* * *

普朗克在选择研究黑体辐射理论时曾试图不借助原子概念来解释它。从某种意义上说他做到了。但他只是凭空得出了这个公式，因此他依然感觉必须回答为什么它会起作用这个问题。他的成功一定让人激动吧，但他的无知也一定让人感到沮丧。

作为一名耐心的科学家，普朗克转而求助于——或许是出于完全的绝望——原子理论重要的倡导者，奥地利物理学家路德维格·玻尔兹曼（1844—1906）进行的研究。玻尔兹曼的目标与普朗克试图证明的东西截然相反——即原子应该被严肃对待——他已经为此奋斗了数十年，并且在这个过程中玻尔兹曼在发展技术方面取得了很大进步，这种技术现在被称为统计物理学（尽管他在说服别人相信他工作的重要性方面没有取得多大进展）。

不管有多不情愿，普朗克愿意求助于玻尔兹曼的研究是一个值得花费时间去领会的举动：一个不想借助原子概念来研究物理学的布道者，从一个他一直反对的理论的拥护者的工作中寻找智力上的救赎。这种对于和自己的成见相左的观点的开放态度就是科学应该如何去做的方式，这也是爱因斯坦后来为什么会对普朗克赞誉有加的原因之一；但这并不是科学通常进行的方式。并且，它也不是大多数企业运作的方式。比如，当互联网、智能手机以及其他新媒体崛起时，和那些难以接受原子或量子的知名科学家一样，那些知名公司——重磅视频、音乐标签、主要的图书连锁店、著名媒体——拒绝接受这种生活和商业的新方式。它们因而被更年轻的人群和更灵活的公司取代，比如网飞、YouTube（最大的视频网站）和亚马逊。实际上，普朗克后来所说的关于科学的话似乎也可以运用到任何革命性的人类新观点中：“科学新真理并不通过说服反对者来取得胜利，[注]而是因为它的反对者最终都将死去，而熟悉它的新一代将会茁壮成长。”[注]

在阅读玻尔兹曼的著作时，普朗克发现在这个奥地利人的热力学统计描述中，他有必要使用一种数学技巧，也就是把能量看成是离散的，比如像鸡蛋那样，与之形成对照的是似乎可以无限分割的面粉。也就是说，鸡蛋的

数量只会是整数，比如1个，2个，或200个，而面粉的数量可以是2.7182818盎司，或者任何你喜欢的数量。至少在厨师看来是这么回事，尽管面粉实际上也不是可无限分割的，而是由离散的模块组成——每一粒优良的谷物——你可以在显微镜下看到。

玻尔兹曼的技巧仅仅是一个运算上的权宜之计；最终，他总是让每一份的数量接近于零，意思是能量会以任意数量再次出现，而不仅仅只是离散量。然而，让普朗克大为吃惊的是，他发现在使用玻尔兹曼的方法解决黑体问题时，他可以推导出他的公式，但他必须省略最后一个步骤，并且余下的能量数量，像鸡蛋一样，应该是某种基本（非常微小）份额的倍数。普朗克大厨把能量的基本份额称为一个“量子”，在拉丁语中它是“多少”的意思。

总之，这就是量子概念的起源。量子理论不是来自科学家在追寻逻辑结论的深刻原理时付出的持续努力，或者来自发现物理学新理念的动力，而是来自一个像厨师一样的人，这个厨师第一次通过显微镜来观察面粉，惊讶地发现它居然和鸡蛋一样，也是由离散的个体单位组成，并且面粉可以按照这些微小份额的倍数进行分割。

普朗克发现这些微小份额的尺寸，或者说是量子，因为光线频率的不同而各异——就可见光来说，它们的频率对应着不同的颜色。特别是，普朗克发现一个量子的光能量等于频率和一个比例因数之积，普朗克把这个因数称为h，也就是今天我们熟知的普朗克常数。假如普朗克采取了玻尔兹曼的最后一个步骤，把h设为零，那能量就将被假定为可无限分割。普朗克并没有那么做，相反，他通过比较自己的公式和实验数据确定了h，他推断——至少就黑体辐射而言——能量以微小的、基本的单位出现，不会呈现出任意数值。

他的理论是什么意思呢？普朗克也不知道。在某种程度上，他只是成功地创造了一个费解的理论来解释他费解的猜想。尽管如此，普朗克还是在1900年12月柏林物理学会的一次会议上宣布了他的“发现”。今天我们把那个通报称为量子理论的诞生，确实，他的新理论将为他赢得1918年的诺贝尔奖，并最终使物理学领域发生了天翻地覆的变化。但在当时，没有一个人知道这一点，包括普朗克自己。

对于大多数物理学家而言，普朗克对黑体辐射的长期研究似乎只是让他的理论变得更加晦涩和神秘，这有什么用呢？然而，普朗克自己从这段经历中了解到了某种重要的东西。他通过在头脑中想象出一幅画面最终“理解了”黑体辐射，在这幅画中，黑色物质由微小的振动器构成，就像弹簧一样，他终于开始相信这些是原子或者分子了——于是他最终确信原子是真实存在的。尽管如此，无论是他本人还是其他人在当时都没有意识到他所

描述的量子有可能会是自然界的一种基本特征。



路德维格·玻尔兹曼，约1900年

普朗克的部分同代人认为他们最终会找到一种不借助量子就可以得出普朗克黑体公式的方法。其他人认为量子某一天会得到解释，不是作为自然界的基本原理，而是作为某种目前未知的材料特征的结果，这种材料特征与他们所知的物理学完全相符——比如，因原子的内部结构而产生的一种普通力学性质，或者原子相互作用的方式。某些物理学家只是把普朗克的著作视为胡言乱语，尽管它与实验数据高度一致。

詹姆斯·金斯爵士是一位知名的物理学家，他曾经也试图解决这个问题，但与普朗克不同的是，他没能推导出完整的公式。在抨击普朗克时，他写道："当然，我清楚普朗克的定律与实验非常一致……而我自己的定律是（从普朗克的）得来的，使$h=0$，却无法与实验保持一致。这并不能改变我的观点，也就是$h=0$是它唯一有可能正确的值。"注是啊，这些讨厌的实验观察就是这样的麻烦——最好还是别去理它们。或者，像罗伯特·福斯特在1914年写的那样，"为什么抛弃一种信仰，仅仅因为它不再真实"。注

最后的结果是，除了讨厌的詹姆斯·金斯之外，普朗克的著作并没有引起多大的轰动。无论他们认为他的著作是胡言乱语，还是认为它将有一个一般的解释，物理学家圈子里的那些人只是不兴奋，就像那些在摇滚狂欢节上

被禁止吸食兴奋剂的粉丝。那些兴奋剂还得再过相当长的一段时间才会出现。实际上，在接下来的5年里，没有一项研究推动他的观点向前发展——不是由他，也不是由别人。这种情况直到1905年才会改变。

* * *

我在上文说到，当普朗克提出量子概念时，没有人意识到它是自然界的一种基本原理。但很快，一位带着完全不同态度的新选手出现在了这个领域。当普朗克宣布他的发现时，这位新选手还只是一个刚刚走出大学校门的无名氏，他将把普朗克关于量子的著作视为具有深远影响，甚至令人不安的作品。“这就像是把我们脚下的大地抽走，哪里都看不到坚实的地基一样。”他后来写道。注

这个人充分理解了普朗克著作的精髓并证明了它的价值，但在流行文化中，他并不是以此闻名，恰恰相反，他最后选择了完全相反的立场，就像金斯做的那样，去反对一个许多观察似乎都揭示了它的真实性的观点。这个人就是阿尔伯特·爱因斯坦）（1879—1955）。

当爱因斯坦接受普朗克的量子观点并对此深信不疑时，他才25岁，还没有完成他的博士论文。然而，到他50岁时，他开始反对他曾经从事的工作。爱因斯坦改变对量子理论看法的原因具有终极的哲学意味，或者形而上学意味，而不是由于科学方面的原因。他在25岁时提出的观点“仅仅”和理解光的新方式有关，把它看作由量子粒子构成的能量。与他晚年出现的量子观点——他反对的这种观点——相较而言，一种全新方式看上去更接近真实。

也就是说，随着量子理论的不断发展，人们越来越清晰地看到，如果有人想要接受它，就必须采取一种新观点来看待存在的意义，存在于某个特定地点的意义，甚至一个事件引发另一个事情的意义。同牛顿式的力学世界观与亚里士多德式的目的驱动型世界观的决裂相比，新量子世界观与我们直觉中的牛顿式世界观是更大程度上的决裂。爱因斯坦，就像他曾经乐于修正物理学一样，也将乐于在他离开人世时拒绝接受从他自己的著作中产生的激进版形而上学理论。

我开始接触量子理论时，爱因斯坦已经过世几十年了，我接受的当然是现代版的构想，加进了所有爱因斯坦不喜欢的激进观点。在我的大学课程中，它们呈现出的是一种枯燥但古怪的理论，发展完善且具有良好的验证效果。人们有时候谈到的“量子奇异性”——比如某个东西实际上同时存在于两个不同地方的可能性——在当时被认为是一个早已确立的事实。它有时候会是一个很有趣的聊天话题，但我们这些大学生做梦也不会忘记它。尽管如此，爱因斯坦仍然是我心目中的英雄，因此让我感到困惑的

是，为什么他会如此难以接受我毫不费力就能接受的观点呢。我知道我不是爱因斯坦，所以有什么东西是我没有看到的吗？

在我努力解决这个问题时，我父亲给我讲了一个故事。这个故事发生在战前的波兰，他和他的一些朋友碰到一只躺在马路上的鹿，已经被汽车撞死了。在当时食物很稀缺，于是他们就把这只鹿抬回家吃了。我父亲告诉我他们并不认为吃“路毙动物”有何不妥，而美国人——比如我——却认为这很恶心，因为我们从小被灌输的观点就是这很恶心。这个时候我意识到，你不必从宇宙的深奥问题或者强烈的道德信仰中寻找那些人们难以接受的观点。这样的观点到处都是，它们大多数只是基于这样一个简单的事实，即人们倾向于继续相信他们一直相信的东西。

量子理论的形而上学含义对爱因斯坦来说就像是一只“路毙动物”。因为从小接受的就是传统的因果关系概念，他将很不情愿去接受一个在含义上如此不同的概念。但假如他再晚出生80年，和我成为同学，他就会伴随奇怪的量子理论成长，对它的反应就会和我以及其他学生一样，认为事实就是如此。到那时它将只是人们接受的知识环境的一部分而已，因此，尽管人们或许认为量子世界新奇，但在有实验可以驳斥它之前，人们还是不会考虑回到过去。

* * *

尽管爱因斯坦最终会努力维护牛顿式世界观的中心观点，但他从来都不是一个传统的思想家，他也不会给权威人物名不副实的认可。实际上，这种另类思考和挑战权威的意愿是如此显著，以至于它曾经使他陷入了麻烦。在他还是少年时，他进入了慕尼黑一所大学预科学校——也就是德国的高中。在他15岁时，他的一位老师说他一无是处，随后他要么被强迫，要么被“礼貌地鼓励”离开了学校，因为他对他的老师不敬，被视为对班里其他学生有负面影响。他后来把这所大学预科学校称为一台“教育机器”，他的意思并不是说它做了什么有用的工作，而是说它喷出了让人头脑昏乱的废气。



Der Erziehungsrat des Kantons Aargau

urkundet hiemit:

Herr **Albert Einstein** von Ulm,

geboren den 14. März 1879,

besuchte die aargauische Kantonsschule & zwar die III. & IV. Klasse der Gewerbeschule.

Nach abgelegter schriftl. & mündl. Maturitätsprüfung am 18., 19. & 21. September, sowie am 30. September 1896, erhielt derselbe folgende Noten:

Fach	Note
1. Deutsche Sprache und Litteratur	5
2. Französische " "	3
3. Englische " "	—
4. Italienische " "	5
5. Geschichte	6
6. Geographie	4
7. Algebra	6
8. Geometrie (Planimetrie, Trigonometrie, Stereometrie & analytische Geometrie)	6
9. Darstellende Geometrie	6
10. Physik	6
11. Chemie	5
12. Naturgeschichte	5
*13. Im Kunstzeichnen	4
*14. Im technischen Zeichnen	4

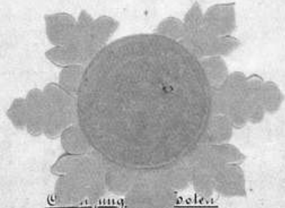
*Hier gelten die Jahresleistungen

Gestützt hierauf wird demselben das Zeugnis der Reife erteilt.

Aarau, den 3ten Oktober 1896.

Im Namen des Erziehungsrates,
Der Präsident:

Der Sekretär:



Erklärung der Noten
6, 5, ... 1,
wovon 6 die beste ... geringste ist.

爱因斯坦1896年在瑞士高中的成绩单，评分标准从1到6，6代表最高分

对于物理学来说幸运的是，爱因斯坦了解宇宙的渴望胜过了他对正式教育的厌恶，因此在被学校开除之后，他申请进入位于苏黎世的瑞士联邦理工学院。他没能通过入学考试，但在一所瑞士高中经过短时间的补习之后，他在1896年被联邦学院录取。和大学预科学校一样，他也不喜欢联邦学院记，许多课也不去上，但他还是通过在考试前死记硬背他一位朋友记的笔记勉强毕业了。爱因斯坦后来写道，马塞尔·格罗斯曼是“无可挑剔的学生，我自己目无法纪，爱做白日梦。他与老师关系融洽，什么都懂；我就像一个弃儿，心怀不满，少人怜爱”。注和格罗斯曼相识不只是爱因斯坦大学生活的一个幸运机会：格罗斯曼后来将成为一名数学家，当爱因斯坦需要用到奇异几何来完成相对论时，格罗斯曼还给他讲过课。

爱因斯坦的大学学位并没有帮助他走上一条轻松的成功之路。实际上，他的一位教授满怀恶意地给他写了一份糟糕的推荐信。至少部分因为那封信产生的影响，爱因斯坦从苏黎世的大学毕业后没能找到一份传统的工作——他想得到一个大学物理系或数学系的职位——相反，他成为两个预科学校男孩的私人家庭教师。

在接受这个职位后不久，爱因斯坦就建议他的雇主让这两个男孩从学校退学，以避免学校造成的破坏性影响。他之所以对教育系统牢骚满腹，是因为教育系统只关注如何让学生为考试做好准备，因而扼杀了任何真实的好奇心和创造力。讽刺的是，大约在一个世纪后，随着乔治·W.布什总统《不让一个孩子掉队》计划的颁布，一个关注学生背诵事实能力的考试导向型课程成为美国官方教育政策的指导思想。大家都知道布什不是爱因斯坦，但很明显，在说到影响别人接受你的观点的这种政治家能力时，爱因斯坦就不是布什了：他的雇主在听完他对预科学校致命影响的谴责后，把他解雇了。

关于爱因斯坦在那段时间的挣扎，他的父亲写道：“我的儿子对他目前的无业状态非常不开心。他感觉自己的事业脱离了轨道，这种情绪一天天地在他心里发酵……他变成我们这些收入不多的人的一个负担，这种想法压得他喘不过气来。”注这封信寄给了莱比锡物理学家弗里德里希·威廉·奥斯特瓦尔德，爱因斯坦还把他第一篇论文的一份复印件，以及希望得到工作的请求寄给了他。爱因斯坦和他父亲都没有收到回复。10年之后，奥斯特瓦尔德将会是第一个提议给爱因斯坦颁发诺贝尔奖的人。但在1901年，爱因斯坦的智力并没有给任何人留下足够深刻的印象，从而给他争取一份无论如何适合他能力的工作。

爱因斯坦的职业生涯最终在1902年稳定下来。马塞尔·格罗斯曼的父亲把他介绍给瑞士伯尔尼的专利局局长，这位局长邀请他参加一场笔试。爱因斯坦的笔试成绩很好，这位局长给他提供了一个职位。这份工作是审阅高

度技术化的专利申请书，并把它们翻译成足够简单的语言，好让他那些不怎么聪明的领导能够看懂。那年夏天，他开始以试用的形式在那里上班。

很明显爱因斯坦擅长做这份工作，尽管他在1904年申请从三级专利干事调到二级专利干事的请求被拒绝了。同时，他发现他在物理学上的工作虽然有回报，但并不显著。他的头两篇论文，分别写于1901年和1902年，讲述了一种关于分子间普遍作用力的假设，这两篇论文，按照他自己后来的描述，毫无价值可言。注 随后他又写出了三篇质量不一的论文，这些同样也没有对物理学界产生多大影响。这之后的一年他的第一个儿子出生，但他没有发表哪怕一篇物理学论文。

长期的财务问题和停滞不前的物理学事业一定很让人心灰意冷吧，但爱因斯坦很享受他的工作，他认为这份工作能够锻炼智力，还说下班后他有“无所事事的8个小时”，在这段时间他可以磨炼自己的激情，思考物理学上的问题。他还占用他在专利局的上班时间来继续从事他下班后的研究工作，一旦有人走近就匆忙把演算纸塞进抽屉里。所有那些努力终于以一种最辉煌的方式获得了回报：1905年，他写出了三篇具有革命意义的不同论文，它们将推动他从一名三级专利干事变成一位一级物理学家。

这些论文每一篇都值一个诺贝尔奖，尽管只有一篇让他获奖。人们或许可以理解诺贝尔委员为什么会犹豫给同一个人多次颁奖，但在过去许多年它却因为很多让人难以理解的失察而不幸地出名。单就物理学家而言，诺贝尔委员会就错误地遗漏了阿诺德·索末菲、莉泽·迈特纳、弗里曼·戴森、乔治·伽莫夫、罗伯特·迪克，以及吉姆·皮泊斯。注

拒绝给迈特纳颁奖尤其异乎寻常，因为几千年来，女性几乎一直被普遍地排除在高等教育的门外，也无法获得可以使她们对理解世界做出贡献的工作机会。这种情况只是在100年前才开始得到改观，这种社会变化现在仍在继续。迈特纳在科学家和女性当中都属于开拓者一般的人物，她是第二个获得维也纳大学物理学博士的女性。毕业之后，她说服普朗克允许她和他一起进行研究，尽管他之前甚至拒绝一名女性旁听他的一堂讲座。最终她开始与一位名叫奥托·哈恩的柏林青年化学家合作。他们一起取得了很多突破，最重要的就是核裂变的发现。可悲的是，因为这个发现，获得1944年诺贝尔化学奖的人是哈恩，而不是迈特纳。注

* * *

理论物理学一种令人陶醉的吸引力是，你的观点有可能会对我们的思维乃至生活方式产生巨大的影响。是的，你需要耗费多年的时间才能理解和吸收你的研究课题以及理解它的技术和问题。是的，你试图破解的许多问题

最终将被证明是无法解决的。是的，你的绝大多数观点都会被证明毫无意义，在大多数情况下，你需要花费数月才能为一项宏大的工作做出微不足道的贡献。当然，如果你准备成为一名理论物理学家，你最好具备顽固的性格和持久的毅力，可以为一个微小的发现激动不已，你掌握的点滴数学知识似乎可以神奇地破解大自然的一个奥秘，这个奥秘在你公布之前只有你自己知道。但还存在另一种可能性：那就是你想到的或者偶然发现的一个观点具有如此强大的能量，以至于它远远不只是自然界的一个小秘密，而是某个改变你的同事——乃至整个人类社会——看待宇宙方式的东西。这就是爱因斯坦在专利局工作的一年时间里三次创造出来的观点。

在这三条开创性理论中，爱因斯坦最为知名的就是相对论。他在这个领域的工作使我们对于空间和时间的概念发生了革命性的改变，它显示它们是紧密联系的，并且它们的测量值不是绝对的，而是由观察者的状态决定。

爱因斯坦想通过相对论解决的问题是一个出现在麦克斯韦的电磁学理论中的悖论，这个理论表示所有测量光速的观察者将发现同样的结果，而与他们自己相对于光源的速度无关。

本着伽利略的精神，我们可以通过一个简单的思维实验来理解上述声明为何与我们的日常体验相矛盾。想象一下，一名食品小贩站在火车站的月台上，此时一列火车呼啸而过。一名乘客从正在移动的火车上向前扔出一个球（或任何物体），在这名小贩看来，这个球移动的速度要比他出于同样的兴趣抛出的球的速度快得多。这是因为，从这名小贩的视角来看，列车上的球会以乘客扔它的速度加上火车的速度运动。然而，麦克斯韦的理论又说，从一辆正在移动的火车上发出的一道光不会移动得更快。在小贩和乘客看来它都是以相同的速度在传播。对于想把所有东西都浓缩成原理的物理学家来说，这需要一个解释。

什么原理使光有别于物质？多少年来，这一直都是物理学家试图解决的问题，最流行的方法认为，这与光在传播过程中穿过的尚未被检测到的介质有关。但爱因斯坦却有其他的看法。他意识到，这个问题的解释并没有隐藏在光线传播的某种未知性质中，而在我们对速度的理解中。爱因斯坦推理道，既然速度等于距离除以时间，而麦克斯韦的理论又说光的速度是固定的，这就告诉我们在测量距离和时间时，不会存在普遍的一致性。爱因斯坦表示，世界上没有通用的钟表或者通用的米尺，所有这样的测量都取决于观察者的运动——必须完全按照要求的方式，这样所有的观察者才会为光测量到同样的速度。因此，我们每个人观察和测量的结果只不过是我们自己的个人观点，而不是一个所有人都认同的事实。这就是爱因斯坦狭义相对论的精髓。

相对论并不要求取代牛顿理论，而是对其进行修订：牛顿运动定律必须做

出修订和改造，才能被轻松地纳入爱因斯坦提出的空间和时间的新框架中，在这个框架里，测量的结果取决于人的运动。对于以相对缓慢的速度移动的物体和观察者，爱因斯坦的理论从本质上说和牛顿的理论相同。只有当论及的速度接近光速时，相对论的效果才会被注意到。

因为相对论的新奇效果只会在极端条件下显现，比起量子理论，它在日常存在中的重要性要小得多，量子理论解释的正是构成我们的原子的稳定性。但在当时没有人知道量子所具有的影响深远的含义；同时，相对论对于物理学界来说无异于一场地震：牛顿式世界观对科学的塑造已经持续了超过200年，现在，它的结构上出现了第一道裂痕。

牛顿理论的基础是世界上只存在一种客观现实。空间和时间构成一个固定框架，在它们搭建的这个舞台上上演着世界上的各种事件。观察者可以观察，无论他们处于哪种位置或者如何移动，他们看到的是同一出戏剧，就如同上帝从天国俯视我们一样。相对论与这种观点相矛盾。通过断言上演的戏剧不止一出——也就是说，在日常生活中，我们每个人所经历的现实都只是个人体验，取决于我们的位置和运动，爱因斯坦已经开始拆除牛顿的世界，就像伽利略开始拆除亚里士多德的世界一样。

爱因斯坦的工作对于物理学文化有着重要的含义：它赋予新生代思想家勇气，让他们在考虑挑战旧有观念时更加容易。比如，正是爱因斯坦写给高中学生的一本关于相对论的书启发了维尔纳·海森堡进入物理学领域。正是爱因斯坦研究相对论的方法给了尼尔斯·玻尔勇气去想象原子遵循的定律或许与我们的日常存在所遵循的定律有着根本性的不同。这两个人我们在后文都会讲到。

讽刺的是，在所有那些吸收和理解爱因斯坦相对论的伟大物理学家中，只有爱因斯坦本人是最不为所动的。在他看来，他并没有主张去颠覆牛顿世界观的主要内容，而只是对其进行了某些纠正——对于当时的大多数实验观察没有多大影响的纠正，但它们的重要性在于修复了存在于这个理论逻辑结构上的一个缺陷。并且，为了使牛顿理论与相对论兼容而做的必要的数学修改也很容易。因此，尽管爱因斯坦后来认为量子理论将会瓦解牛顿物理学，但按照物理学家和传记作家亚伯拉罕·派斯的说法，他“认为相对论根本就算不上是一场革命”。[注]对于爱因斯坦来说，相对论是他1905年最不重要的论文。在他眼中，其他两篇关于原子和量子的论文的意义要更为深远。

爱因斯坦关于原子的论文分析了一种叫作布朗运动的效应，由达尔文的老朋友罗伯特·布朗在1827年发现。这种“运动”指的是微小粒子神秘的、随机的游走，比如悬浮在水中的花粉颗粒。爱因斯坦解释称，这是亚微观分子

以极高的频率从各个方向撞击漂浮粒子造成的结果。尽管单一的撞击由于太过轻微而无法使粒子发生移动，但爱因斯坦通过统计数据表明，粒子晃动幅度的大小和频率可以通过罕见的偶然性来解释，因为纯粹的意外因素，从一个侧面撞击粒子的分子数量要比从相反方向撞击粒子的分子数量多出太多，因而产生了足够使它移动的力量。

这篇论文很快就引起了轰动，它是如此引人关注，甚至连原子理论的死对头弗里德里希·威廉·奥斯特瓦尔德也评论说在阅读完爱因斯坦的著作后，他开始相信原子是真实的。从另一方面讲，原子的重要支持者玻尔兹曼从未对爱因斯坦的著作，或者由它带来的态度的改变做任何评价，这很让人费解。部分原因是他由于自己的观点受到的待遇而心灰意冷，他在第二年自杀了。这尤其让人感到悲哀，因为随着爱因斯坦关于布朗运动的论文以及他写于1906年的另一篇论文的发布，物理学家最终确信了他们既无法触碰又看不见的物体的真相——这完全就是玻尔兹曼自19世纪60年代开始一直在宣扬，但没有获得太多成功的观点。

在30年内，凭借着描述原子的新公式，科学家将能够解释化学的根本原理——最终为道尔顿和门捷列夫的观点提供了解释和证明。他们也将开始努力实现牛顿的梦想，即根据构成物体材料的粒子——例如它们的原子——的相互作用力来理解材料的性质。到20世纪50年代，科学家将走得更远，利用他们关于原子的知识来为更深刻地理解生物学服务。在20世纪下半叶，原子理论将引领技术革命、计算机革命以及信息革命。一篇分析花粉运动的论文最终成长为一个塑造现代世界的工具。

然而，所有这些实践活动依托的定律以及描述原子特性的公式将不会来自牛顿的经典物理学，甚至也不会来自它修订版的“相对”形式。要想描述原子将需要自然界的新定律——量子定律——量子概念正是爱因斯坦在1905年写的另一篇革命性论文的主题。

在这篇名为《关于光的产生和转化的一个启发性观点》的论文中，爱因斯坦采纳了普朗克的观点，并将其转变为深刻的物理学原理。爱因斯坦明白，量子理论和相对论一样都是对牛顿的挑战。但在这一点上，量子理论并没有为这个挑战的规模，或者当它进一步发展时将会引发的令人不安的哲学含义做出提示，因此爱因斯坦并不知道他做了什么。

因为爱因斯坦在他的论文中提出的“观点”涉及把光视为量子粒子，而不是波——就像麦克斯韦非常成功的理论描述的那样——这篇论文并没有像他1905年的另一篇开创性论文那样被人广为接受。实际上，物理学界还需要超过10年的时间才能接受他的观点。至于爱因斯坦自己对这件事的感受，我们回过头看看1905年他在发表这三篇论文之前写给一个朋友的信就能有

所了解。(注) 关于他的相对论论文，爱因斯坦评论道，它的部分内容“会让你感兴趣”。同时，他把自己关于量子的论文描述成“极具革命性”。确实如此，正是这篇作品最终产生了最伟大的影响，也正是这篇作品为他在1921年赢得了诺贝尔奖。

* * *

爱因斯坦从普朗克遗留的量子问题入手，这不是巧合。和普朗克一样，他的职业生涯开始于研究原子在热力学这个落后领域中的作用。但和普朗克不同的是，他像是一个和当代物理学的大部分内容没有接触的局外人。至于原子，爱因斯坦和普朗克的目标完全相反，因为普朗克的博士研究目标在于使物理学摆脱原子的影响，而爱因斯坦在他写于1901—1904年的第一篇论文中提出了他的目标，即“发现尽可能多的事实去证明具有明确有限体积的原子的存在”，随着他在1905年对原子的随机运动如何引起布朗运动的革命性分析论文的发表，他最终完成了这个目标。(注)

尽管爱因斯坦帮助物理学家最终接受了原子的存在，但在关于普朗克量子概念的著作中，爱因斯坦引入了一种新的“类似原子”（atom-like）的光理论，物理学家发现这个理论甚至更难理解。他是在思考普朗克关于黑体辐射的研究后发展出这个理论的。由于对普朗克的分析不满意，他发明了自己的数学工具去分析这种现象。尽管他得出了相同的结论——即黑体辐射只能通过量子概念来解释——但他的解释有一个关键的技术上的不同：普朗克曾推测能量的离散特性是由于在释放辐射的过程中黑体中的原子或分子发生振荡所致；而爱因斯坦则把离散的特性视为辐射本身固有的属性。

爱因斯坦把黑体辐射视为自然界一种新的基本定律的证据：所有电磁能量以离散包的形式出现，以及辐射是由类似光原子的粒子构成。正是由于这种洞察力，爱因斯坦成为第一个意识到量子原理革命意义的人——它是我们世界的一个基本层面，而不仅是一个专门用来解释黑体辐射的数学技巧。他把辐射的粒子称为“光量子”，在1926年他的光量子将获得一个现代名字：光子。

假如爱因斯坦就此止步，他的光子理论将仅仅是一个解释黑体辐射的替代模型，就像普朗克的模型一样。但假如光子真的是一种基本概念，它应该可以阐明现象的本质，而不只是解释黑体辐射这种现象。爱因斯坦在这些现象中发现了一种被称为光电效应的现象。

光电效应是光照射金属从而使它释放电子的过程。这些电子形成的电流可以应用于各种装置。这种技术在电视机的发展过程中将发挥重要的作用，它还会在各种装置中得到应用，例如烟雾探测器和防止你在进入电梯时被

电梯门夹住的传感器。在后一种应用中，一束光穿过门口照射在另一头的光电接收器上，这个装置会产生电流；如果你走进电梯，你将阻断这束光线，因此也就切断了电流，电梯制造商通过这种方式安装设备，电流的中断将会使电梯门保持开启状态。

光照射金属可以产生电流，这是由德国物理学家海因里希·赫兹在1887年发现的，他是第一个有意制造和探测由加速电荷释放的电磁波的人，因此频率的单位赫兹就是以他的名字命名的。但赫兹无法解释光电效应，因为电子尚未被发现。1897年英国物理学家J. J. 汤姆孙在实验室中发现了电子——此时赫兹去世已经三年，他在76岁时死于一种引起血管发炎的罕见疾病。

光子的存在为光电效应提供了一个简单的解释：当电磁波照射金属时，激发了金属内部的光子，使其飞出来并以电火花、射线和电流的形式呈现。受到汤姆孙工作的启发，物理学家开始更深入地研究这种效应。但经过长期艰难的实验，他们最终发现光电效应在有些方面并不符合理论框架。

比如，当你增加一束光线的强度时，它会使金属释放出更多的电子，但却对这些电子的能量没有影响。这与经典物理学的预测相矛盾，因为强度更大的光携带有更多的能量，所以，当能量被吸收后，它应该产生更快、更活跃的电子。

爱因斯坦思考这个问题已经很多年了，在1905年他终于把它和量子联系起来：如果光是由光子构成的，这个数据就可以得到解释。爱因斯坦以这样的画面描述光电效应：每个撞击金属的光子将它的能量转移给了某些特别的电子。每个光子携带的能量与光的频率，或者颜色成比例，如果一个光子携带了足够的能量，它将使电子自由地飞出去。频率较高的光由能量较高的光子构成。另一方面，如果只增加光的强度（而不是频率），光将由更多的光子组成，但不是那些能量更高的光子。结果，强度更高的光将导致更多的电子被释放出来，但电子的能量将不会改变——这和先前观察到的现象完全一致。

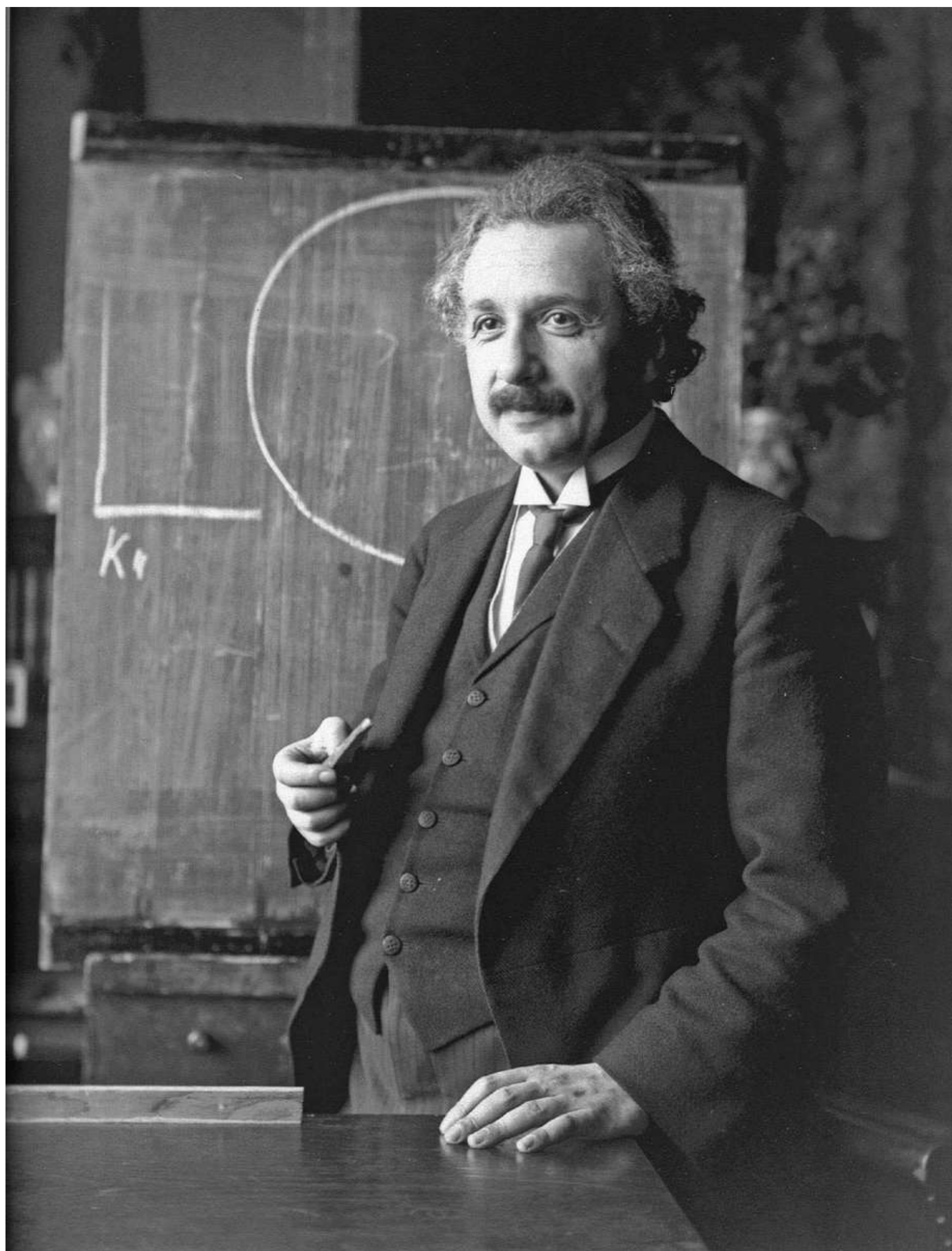
光是由光子——粒子——构成的提议与麦克斯韦极其成功的电磁学理论相矛盾，这个理论认为光是以波的形式传播的。爱因斯坦认为当我们展开的光学观察涉及由数量庞大的光子产生的净效应时——在普通情况下就是这样——光经典的“麦克斯韦式”波状特性就会出现。

比如，一个100瓦的电灯泡每十亿分之一秒释放出大约10亿个光子。相较而言，当光的强度较低时，或者在某种其机制由光子的离散本质决定的现象中（比如光电效应），光的量子本质才会变得明显。但爱因斯坦的推测并不足以使其他人接受他激进的观点，他遭遇到了极大的，几乎是普遍的

怀疑。

对于爱因斯坦工作的评价，我最喜欢的是由普朗克和多位其他顶级科学家在1913年为爱因斯坦入选享有盛誉的普鲁士科学院联名写的推荐信：“总而言之，人们可以说，在现代物理学存在的许多重大问题中，还没有哪个是爱因斯坦没有做出过非凡贡献的。他有时候或许会在推测中遗漏了某些目标，比如他的光量子假设，但这不能成为反对他的理由，因为在最精密的科学中引入真正的新概念在某些时候就必须得冒险。”注

* * *



阿尔伯特·爱因斯坦，1921年

讽刺的是，正是光子理论最初的反对者之一罗伯特·密立根最终完成了精确测量，确认了爱因斯坦描述的被释放的光电子能量的定律——他因为这些

成就（以及他对电子电荷的测量）在1923年获得了诺贝尔奖。当爱因斯坦在1921年获得诺贝尔奖时，颁奖词说得很简单："该奖颁发给阿尔伯特·爱因斯坦，感谢他为理论物理学做出的贡献，尤其是他对光电效应定律的发现做出的贡献。"注

诺贝尔委员会选择认可爱因斯坦的公式，但却忽视了他推导这个公式所经历的知识革命。他们也没有提及光量子，或爱因斯坦对于量子理论的贡献应得的荣誉。亚伯拉罕·派斯把这称为"一个历史性的低估，但也准确地反映了物理学界的共识"。注

随着"量子力学"理论的正式提出，对于光子以及通常的量子理论的怀疑将在下一个十年被平息，量子力学理论将取代牛顿运动定律作为控制物体如何运动以及对作用力做出反应的根本原理的地位。当这个理论最终出现时，爱因斯坦将会认可它的成功，但也正是从那个时候起他开始反对量子理论。

爱因斯坦拒绝接受量子理论是最终答案的说法，他一直相信它终将会被一个更为基本的理论取代，这个理论将恢复传统的因果概念。在1905年他曾发表了三篇论文，每一篇都改变了物理学的发展轨迹；在他余下的人生中，他徒劳无功地试图再这么做一次——去颠覆因他而起的东西。1951年，在他最后的信件中，有一封是写给他的朋友米歇尔·贝索的，爱因斯坦在信中承认他失败了。"所有这50年的思索，"他写道，"并没有使我更接近这个问题的答案：什么是光量子？"注

---

1. 罗塞塔石碑是解读失传千年的埃及象形文字的关键，后用来比喻解决一个问题或困难的关键线索或工具。——编者注

2. 普朗克经常被错误引用的一句话更简短有力："科学的每一次进步都是在葬礼上取得的。"

3. 索末菲是一位重要的量子理论先驱；正如我说的那样，迈特纳完成了很多发现，包括核裂变；戴森在电磁学的量子理论中发挥了重要作用；伽莫夫、迪克以及皮泊斯解释和预测了宇宙微波背景辐射，但因此而获奖的却是阿尔诺·彭齐亚斯和罗伯特·威尔森，他们只是偶然探测到它，但他们并不了解自己发现的东西。

4. 然而，和门捷列夫一样，迈特纳获得了国际纯粹与应用化学联合会的认可，它在1997年将第109种元素命名为。迈特纳于1968年去世。

5. In 2013, scientists were finally able to go a step further and “see” individual molecules reacting. See Dimas G. de Oteyza et al., “Direct Imaging of Covalent Bond Structure in Single-Molecule Chemical Reactions,”*Science*340 (June 21, 2013): 1434–37.

6. N iels Blaedel,*Harmony and Unity: The Life of Niels Bohr* (New York:Springer Verlag, 1988), 37.

7. John Dewey, “What Is Thought?,” in*How We Think* (Lexington, Mass.:Heath, 1910), 13.

8. Barbara Lovett Cline,*The Men Who Made a New Physics* (Chicago:University of Chicago Press, 1965), 34. See also J. L. Heilbron,*The Dilemmasof an Upright Man* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1996), 10.

9. Much of the material on Planck comes from Heilbron,*Dilemmas of an UprightMan.* See also Cline,*The Men Who Made a New Physics,* 31–64.

10. Heilbron,*Dilemmas of an Upright Man,* 3.

11. Ibid., 10.

12. Ibid., 5.

13. Leonard Mlodinow and Todd A. Brun, “Relation Between the Psychologicaland Thermodynamic Arrows of Time,”*Physical Review E* 89 (2014):052102–10.

14. Heilbron,*Dilemmas of an Upright Man,* 14.

15. Ibid., 12; Cline,*The Men Who Made a New Physics,* 36.

16. Richard S. Westfall,*Never at Rest* (Cambridge, U.K.: Cambridge UniversityPress, 1980), 462.

17. Ibid.

18. The original quote, often misquoted, is*“Eine neue wissenschaftliche Wahrheit pflegt sich nicht in der Weise durchzusetzen, daß ihre Gegner überzeugt werden und sich als belehrt erklären, sondern vielmehr dadurch,daß ihre Gegner allmählich aussterben und daß die heranwachsende Generation von vornherein mit der Wahrheit vertraut gemacht ist.”* Itappeared in*Wissenschaftliche Selbstbiographie: Mit einem Bildnis und der von Max von*

Laue gehaltenen Traueransprache (Leipzig: Johann AmbrosiusBarth Verlag, 1948), 22. The translation comes from*Max Planck, Scientific Autobiography and Other Papers,* trans. F. Gaynor (New York: Philosophical Library, 1949), 33–34.

19. John D. McGervey,*Introduction to Modern Physics* (New York: Academic Press, 1971), 70.

20. Robert Frost, "The Black Cottage," in*North of Boston* (New York: Henry Holt, 1914), 54.

21. Albert Einstein,*Autobiographical Notes* (1949; New York: Open Court,1999), 43.

22. Carl Sagan,*Broca's Brain* (New York: Random House, 1974), 25.

23. Abraham Pais,*Subtle Is the Lord: The Science and Life of Albert Einstein*(Oxford: Oxford University Press, 1982), 45.

24. Ibid., 17–18.

25. Ibid., 31.

26. Ibid., 30–31.

27. Ronald Clark,*Einstein: The Life and Times* (New York: World Publishing,1971), 52.

28. Pais,*Subtle Is the Lord,* 382–86.

29. Ibid., 386.

30. Ibid.

31. Jeremy Bernstein,*Albert Einstein and the Frontiers of Physics* (Oxford:Oxford University Press, 1996), 83.

11.看不见的王国

在我完成博士学业后，我在加州理工学院找到一份初级教员的工作，开始到处寻找研究课题，以免自己脱离学术圈，最后不得不在教员俱乐部端茶递水，干一份赚大钱的服务生工作。某天下午开完研讨会后，我和物理学家理查德·费曼聊起一种被称为弦理论的理论。在他的物理学家同事中，年过六旬的费曼在当时或许是世界上最受人尊敬的科学家。今天很多人（尽管远远不是所有人）把弦理论视为理论物理学领域的圣杯——自然作用力大一统理论的主要候选者。在当时没有多少人听说过它，大多数听说过的人也不在意它——包括费曼。有一次，正当他抱怨它时，一位正在对我们系进行访问的蒙特利尔一所大学的研究员恰好路过。“我觉得我们不应该因为物理学权威不认可这些新理论就去阻拦年轻人研究它们。”他对费曼说。注

费曼是因为弦理论和他之前的信仰体系相差甚远以至于无法调整自己的思维才抵制它的吗？或者如果它和他之前的理论差别不是如此巨大，他还会得出关于它缺点的相同结论吗？我们并不清楚，但费曼告诉这位访客，他并不是建议我不要去研究新东西，只是告诫我应该小心谨慎，因为如果这条理论被证明行不通，我就会浪费大量的时间。这位访客回答道：“这个嘛，我研究自己的理论已经有12年了。”接着他开始详细描述他的理论，简直让人痛苦不堪。当他讲完后，费曼当着这个刚刚自豪地描述他工作的人的面对我说：“这就是我给你说的浪费时间的意思。”

研究的前沿笼罩着一片迷雾，任何积极活跃的科学家在沿着无趣或没有希望的探索之路前行时一定会浪费精力。但成功的物理学家之所以能脱颖而出，是因为他们有选择既具启发性又可以被解决的问题的窍门（或运气）。

我曾把科学家的激情和艺术家的做过类比，但我一直认为艺术家比科学家有更大的优势——在艺术领域，无论有多少同事或批评家说你的作品糟糕透顶，都没一个人能证明它，但在物理学领域就能够证明。在物理学领域，你想到一个“美妙的点子”，即使它不正确也没关系——这种想法并不能使人得到安慰。因此，就像在创新领域做任何尝试一样，在物理学领域你必须艰难地维持一种平衡，既要仔细选择你准备研究的问题，又不能因为太过谨慎而从不敢做新的尝试。这就是终身教职制度为什么对科学如此宝贵的原因——它让科学家即使失败了也有安全保障，这对于培养创造力至关重要。

回过头再看，爱因斯坦那激动人心的光子理论——光量子——似乎应该马上鼓励人们展开大量新的研究去研究尚未成熟的量子理论。但对于爱因斯坦同时代的人来说，他们并没有看到多少光子存在的证据，因而有充足的理由来怀疑它，这也就意味着研究光子将需要极大的冒险精神和勇气。

当提到研究一个有可能不会产生结果或者有可能招来嘲讽的问题时，年轻的物理学家是心态最为开放的人，他们的世界观依然还有可塑性，但即使是他们在选择博士或博士后研究课题时也没有选择爱因斯坦疯狂的光子理论。

差不多10年过去了，依然没有取得任何实质性的进展。爱因斯坦已经年过三十，对于一个先锋理论家来说这个年龄已经太大了，他开始把大量的时间投入到一个不同的革命性观点上：通过扩展或者归纳他在1905年撰写的狭义相对论从而把重力纳入其中。（狭义相对论是牛顿运动定律的修订版；广义相对论将取代牛顿的万有引力定律，但这需要爱因斯坦对狭义相对论做出修改。）爱因斯坦对于光子理论的忽视让罗伯特·密立根写道：“尽管……爱因斯坦的（光电效应）公式取得了明显的成功，它表达的这个（光子的）物理理论被发现是如此站不住脚，以至于爱因斯坦本人，我认为，也不再相信它了。”注

密立根错了。爱因斯坦并没有放弃光子，只是因为当时他的注意力在其他地方，密立根这么想就不难理解了。然而，不管是光子还是孕育光子的量子概念都没有死亡。恰恰相反，它们很快就将成为明星，这最终得感谢尼尔斯·玻尔（1885—1962），这个二十来岁的年轻人既没有根深蒂固的习惯也没有足够的阅历教他懂得他不应该冒着浪费时间的风险去挑战我们对于统治世界的定律的看法。

* * *

当尼尔斯·玻尔还是高中生时，他接受的教育一定告诉他，希腊人发明了自然哲学，艾萨克·牛顿描述物体如何对重力做出反应的公式，代表着人类在理解世界运行方式这个目标上又跨出了一大步，因为它们使科学家具备了对降落和沿轨道运动的物体进行精确量化预测的能力。注在出生前不久，玻尔接受的教育也将告诉他，麦克斯韦在牛顿的著作中加入了一种新理论用以描述物体如何产生电力和磁力并对它们做出反应——因而推动牛顿式世界观发展到了我们今天所知的它的顶峰。

玻尔成长时期的物理学家似乎有一种囊括当时已知的所有自然互动的作用力和运动理论。随着新世纪的到来，玻尔进入哥本哈根大学开始他的大学生涯，他不知道的是，在这些有史以来最为伟大的成功出现超过200年之

后，牛顿式世界观即将坍塌。

正如我们看到的那样，尽管麦克斯韦的新理论最初只是让牛顿运动定律的适用范围有可能扩及一组全新的现象，但后来它显示像黑体辐射和光电效应这样的现象违背了牛顿（经典）物理学的预测，于是对牛顿的挑战就这么出现了。但爱因斯坦和普朗克的理论进步之所以能够实现，只是因为技术创新赋予了实验家探索涉及原子的物理过程的能力。正是事情的这种转变启发了玻尔，因为他对于实验研究有着深刻的体会——以及相当出众的天分。

对于任何对实验物理学有兴趣的人来说，玻尔发表论文之前的那些年都是让人兴奋的。比如，人们发明出一种具有嵌入式电子源的真空玻璃管——它是老式电视机的屏幕“阴极射线管”的前身，在这些年里出现的诸如此类的技术进步产生了一系列重要的突破。比如：威廉·伦琴发现了X射线（1895年）；汤姆孙发现了电子（1897年）；新西兰出生的物理学家欧内斯特·卢瑟福（1871—1937）了解到像铀和钍这样的化学元素会释放出神秘的射气（1899–1903）。卢瑟福把这些神秘射线分成了三类——阿尔法、贝塔和伽马射线。据他推测，这些射气是一种元素的原子在自然衰变成另一种原子时产生的碎片。

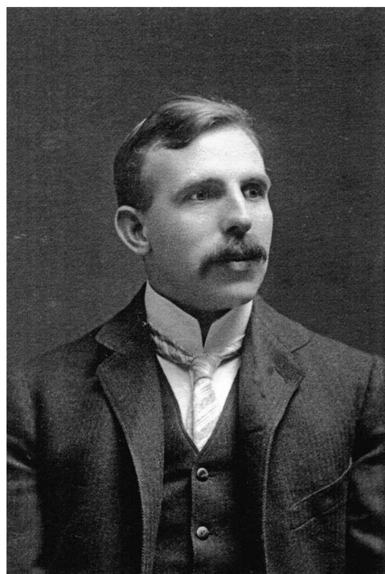
汤姆孙和卢瑟福的发现尤其具有启示性，因为它们涉及原子及其构成部分，而这些被证明是无法使用牛顿定律，甚至它的概念性框架进行描述的。因此，人们最终意识到他们的观察需要一个全新的探索物理学的途径。

但如果说当时的理论和实验发展是如此耀眼的话，物理学界对其中大多数理论和实验的最初反应却是冷静一下，假装什么也没发生。因此，不但普朗克的量子和爱因斯坦的光子无人问津，这些革命性的实验也同样如此。

在1905年之前，那些认为原子是形而上学式的胡说八道的人对待关于电子（一种假定的原子成分）的言论的态度就跟一个无神论者对待一场关于上帝到底是男是女的辩论的态度一样严肃。更让人惊讶的事实是，那些相信原子的人也不喜欢电子——因为电子是原子假定的“部分”，而原子又被假定是“不可分割的”。汤姆孙的电子看起来是如此古怪，以至于一位著名的物理学家告诉他，在听到他的声明后，这位物理学家认为汤姆孙是在“跟他们开玩笑”。注

同样，卢瑟福认为一种元素的原子会衰变成另一种原子，他的这种观点遭人轻视，就仿佛只有留着长须、披着炼金术士长袍的人才会提出这种观点。1941年，科学家将学会如何把水银转化成黄金——这简直就是炼金术

士的梦想啊——通过在核反应堆中利用中子冲击水银。注但在1903年，卢瑟福的同事并没有勇敢到可以接受他关于元素衰变的大胆声明。（讽刺的是，他们却大胆到可以把玩卢瑟福给他们的亮闪闪的放射性小玩意儿，因而在那个他们认为并不会发生的过程中受到了射线的辐射。）



欧内斯特·卢瑟福

对很多人来说，理论物理学家和实验物理学家撰写的大量奇怪的论文看起来一定很像今天的社会心理学作品，在这些作品中研究者经常会宣称他们有了疯狂的发现，例如“爱吃葡萄的人出车祸的次数更多”。实际上，尽管物理学家的结论听上去很古怪，但它们是正确的。不断积累的实验证据，再加上爱因斯坦的理论论据，最终迫使物理学家开始认可原子及其构成部分。

由于发现了电子，汤姆孙在1906年被授予诺贝尔物理学奖，而卢瑟福则在1908年获得诺贝尔奖——但却是化学奖——获奖原因是他相当于穿长袍的炼金术士在研究某样东西时的发现。

这就是尼尔斯·玻尔在1909年踏入物理学研究领域时的场景。他只比爱因斯坦小5岁，但这种代沟却大到足以使他成为一个新生代，这个新生代进入的领域最终接受了原子和电子——尽管依然还没有接受光子。

为了完成博士论文，玻尔选择了分析和批评汤姆孙的理论。论文完成时，他申请到一笔可以使他去剑桥大学工作的研究经费，这样他就可以试探这

位伟大人物的反应。观点间的辩论是科学的一个关键特征，因此对于玻尔来说，带着他的批评去接近汤姆孙并不太像一名艺术系学生对毕加索说他的脸有太多角度——但这也很接近。汤姆孙实际上并没有多渴望去接见一个自负的批评家。玻尔将逗留几乎整整一年的时间，但汤姆孙将不会和他讨论他的论文——甚至不会阅读它。

对玻尔来说汤姆孙的忽视将被证明是因祸得福，因为当他没能完成吸引汤姆孙的计划，还在剑桥大学饱受煎熬之际，他见到了来访的卢瑟福。卢瑟福年轻时曾在汤姆孙手下工作过，但此时的他已经是世界顶尖的实验物理学家和曼彻斯特大学一所专门研究辐射的中心的主任。和汤姆孙不同，卢瑟福很欣赏玻尔的观点，并邀请玻尔去他的实验室工作。

卢瑟福和玻尔是一对奇怪的搭档。卢瑟福是一个身材高大、精力充沛、身形魁梧的人，有着坚毅的面孔和惊雷般的嗓音，有时候甚至会影响到敏感的实验器材。玻尔则温文尔雅，容貌和举止都更为柔和，他经常低着头，说起话来轻声细语，并带有轻微的语言障碍。卢瑟福带着浓重的新西兰口音，玻尔则讲着一口蹩脚的丹麦英语。当卢瑟福在谈话过程中被驳斥时，他会饶有兴致地聆听，但直到谈话结束时也不会做出任何回应。玻尔则是为辩论而生的，他很难创造性地思考问题，除非房间里有另一个人可以和他进行针锋相对的辩论。

对玻尔来说，和卢瑟福成为搭档是一个幸运的机遇，因为尽管玻尔在去曼彻斯特的路上脑子里想的是他或许可以对原子展开实验，但当他到达后，他却对卢瑟福正在研究的一种原子理论模型非常着迷，这个模型是卢瑟福根据自己的实验研究设计的。玻尔正是通过“卢瑟福原子”的理论研究工作使沉睡的量子观点苏醒，并完成了爱因斯坦未竟的关于光子的工作：他将使量子概念留在科学的版图上。

* * *

当玻尔来到曼彻斯特后，卢瑟福正在通过实验研究原子中的电荷是如何分布的。他决定通过分析带电粒子在被像子弹一样射向原子时它们偏转的方式来研究这个问题。他选择的带电抛射物是阿尔法粒子——这种粒子是他自己发现的，我们今天知道它们只是带正电的氦原子核。

卢瑟福尚未设计出他的原子模型，但他认为原子与汤姆孙提出的一种模型高度一致。质子和原子核在当时还不为人所知，在汤姆孙的模型中原子由一种散布的正电荷流体构成，在这种流体中有足够多的微小电子循环往复来抵消正电。[注]由于电子的质量很小，卢瑟福估计它们会像碰到炮弹的弹珠一样不会对阿尔法粒子的路径产生多大影响。他试图研究的正是这种质量更大的正电荷流体——以及它们的分布方式。

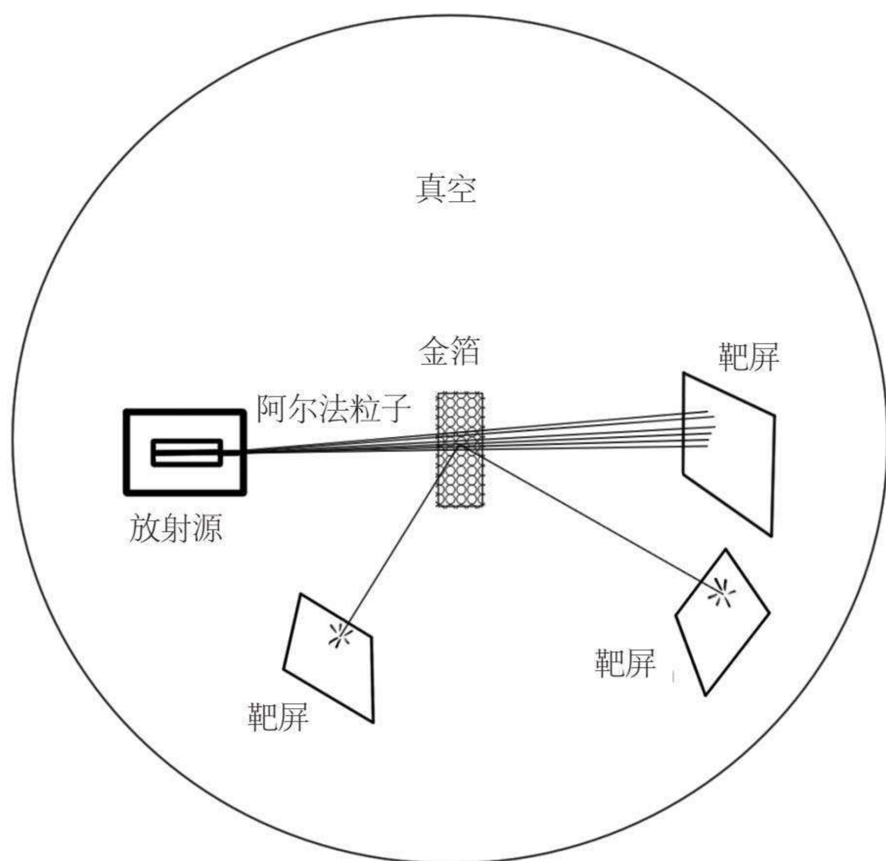
卢瑟福的装置很简单。用放射性物质（例如铀）发出的一束阿尔法粒子照射一张金箔。金箔后方安放了一块靶屏。当阿尔法粒子穿过金箔后，将击中这块屏幕，产生极其微弱的闪光点。在靶屏前方放置着一面放大镜，人们需要花费精力去记录闪光点出现的位置并判断金箔中的原子使阿尔法粒子发生偏转的程度。

尽管卢瑟福闻名世界，但他的工作以及工作环境却谈不上令人神往。他的实验室位于一个潮湿、昏暗的地下室，天花板和地板上布满了管子。天花板很低，你极有可能会撞到脑袋，地板很不平坦，在你头上的疼痛还没消失前可能就会被地板上的管子绊个跟头。卢瑟福缺乏做测量工作的耐性，有一次他只尝试了两分钟就咒骂着放弃了。而另一方面，他的德国助手汉斯·盖革却是一个从事乏味工作的“魔鬼”。不过，他之后发明的盖革计数器将否定他这种技能的价值。

根据卢瑟福的估计，大多数重量大、带正电的阿尔法粒子会从金原子之间的缝隙中穿过金箔，但由于距离这些原子太远它们并不会发生明显的偏转。但他推测，少数阿尔法粒子在穿过一个或者更多的原子时将受到它们散布的正电荷的排斥，因而会略微偏离直线路径。这个实验将阐明原子的结构，但这凭借的只是运气，而不是按照他曾经预想的方式。

刚开始，盖革收集到的所有数据与卢瑟福的预期相符，并且看来好像也与汤姆孙的模型一致。接下来在1909年的某一天，盖革建议为一个名叫欧内斯特·马斯登的年轻大学生布置一项“小型研究”任务，好让他练手。卢瑟福当时正在参加数学系关于概率论的课程，他意识到有极少数阿尔法粒子或许会以某种更大的角度发生偏转，超出了他仪器设计的探测范围。于是他建议盖革让马斯登对他们的实验进行调整以研究这种概率。

马斯登开始寻找盖革之前一直在寻找的发生较大偏移的粒子——甚至是更大的偏移，如果这真的会发生的话，这将和卢瑟福“所知的”关于原子结构的一切相矛盾。在卢瑟福看来，这个任务几乎就和浪费时间无异。换句话说，对一名大学生来说这是一项不错的研究任务。



卢瑟福的金箔实验

马斯登尽职尽责地观察着阿尔法粒子一次又一次地穿过金箔，和预期的一样，它们没有发生激动人心的偏转。但接下来真正难以想象的事情终于发生了：在一个远离中心位置的探测屏上出现了闪光点。最终，在马斯登观察的数以千计的阿尔法粒子中，只有为数不多的一些发生了较大角度的偏转，但其中有一到两个被反弹了回来，几乎如同回飞镖一样。这就够了。

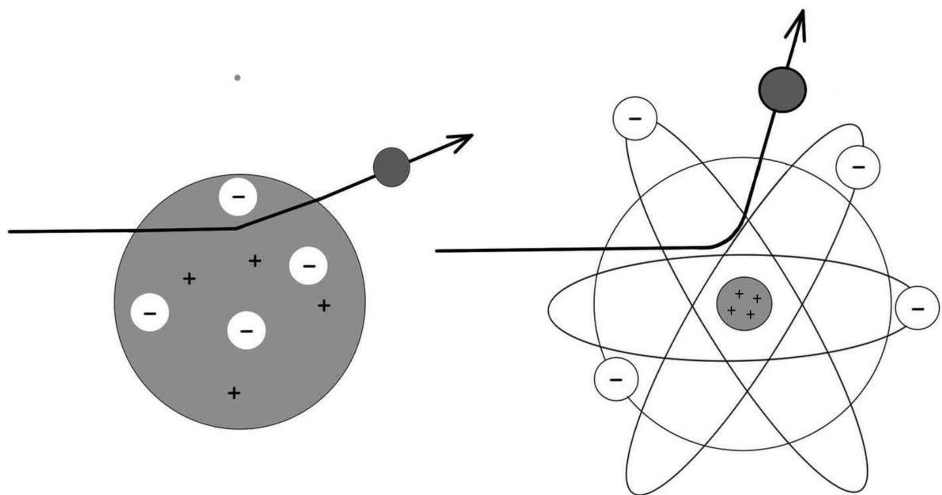
听到这个消息后，卢瑟福说这是“我人生中发生过的最不可思议的事情。它不可思议的程度就像是你对着一张卫生纸发射了一枚15英寸的炮弹，它却弹回来击中了你”。[注]他之所以会如此反应，是因为他的数学知识告诉他，在金箔中一定存在某种微小到难以想象但能量十足的东西导致了那种罕见的极大偏转。因此卢瑟福终究没有阐明汤姆孙模型的细节——他发现汤姆孙模型是错误的。

在马斯登展开实验之前，这项任务似乎很古怪，这正是费曼告诫我不要参与的那种活动。然而，在被完成后的一个世纪，它被普遍地赞誉为是一项精彩的实验。确实如此，假如没有它，“玻尔原子”也就极有可能不会出现，这也就意味着一套连贯的量子理论——假如它还会出现的话——只会在许多年后出现。这转而又会对我们所说的技术进步产生极大的影响。它还将会推迟原子弹的发展，首先，原子弹将不会投向日本，因而挽救了无数无辜日本平民的生命，但这或许又会导致无数士兵在盟军进攻中丧生。它也将推迟许多其他发明的出现，比如晶体管，计算机时代也将因此延后出现。我们很难说清楚假如没有展开那个似乎毫无意义的大学生实验，它究竟会产生怎样的影响，但我们可以很有把握地说，今天的世界将会大不一样。从这件事情上我们又一次看到了存在于一个古怪疯狂的研究项目和一个改变一切的创新观点之间那条微妙的分界线。

最后，在卢瑟福的监督下，盖革和马斯登又进行了无数次更进一步的实验，观察到了超过百万分之一的闪光点发生了极大偏转和被反弹回来。他将根据这些数据提出他关于原子结构的理论，这个理论和汤姆孙的理论的不同之处在于，尽管它依然把电子描绘成沿着同心轨道进行运动，但正电荷将不再是分散的，而是集中在原子微小的中心。然而，盖革和马斯登将很快分道扬镳。他们将在“一战”中各为其主，接着，他们又会为“二战”的敌对方提供科学技术：马斯登研究一种雷达新技术；而作为纳粹的支持者，盖革将研究德国原子弹。注

卢瑟福原子模型是我们小学就学到的模型，在这个模型中，电子就像行星围绕太阳那样围绕原子核做轨道运动。和很多科学概念一样，当它被总结为课堂模型那样的常见比喻时，它看上去并不复杂，但这个概念真正的高明之处正是在我们把它提炼成这样一种简单画面的过程中那些消失的“技术”复杂性。直观画面很有帮助，但真正把一种物理学观点带到人们生活中的关键是它传达出的数学推理。因此，物理学家必须不仅是梦想家，还得是技术员。

对于梦想家卢瑟福来说，这个实验表明原子的绝大部分质量和它所有的正电荷一定集中在它的中心，这是一个小到难以置信的带电物质球体，它的密度大到仅仅一小杯那种物质的重量就是珠穆朗玛峰的100倍。注他后来把原子的核心称为“原子核”。（你和我的体重远远比不上珠穆朗玛峰的重量，这证明原子核只是原子中心一个极小的点，这也造成了原子中存在着大量的空间。）



在汤姆孙(左图)和卢瑟福原子模型中预测的阿尔法粒子偏转路线

技术员卢瑟福通过仔细研究复杂的、技术性极强的数学模型发现，如果他想象的这个画面是正确的，他的实验就将产生和他的团队观察到的现象完全一致结果。大多数速度快、质量大的阿尔法粒子在穿过金箔时不会碰到原子微小的中心，其结果就是它们只会受到轻微的影响。同时，极少数阿尔法粒子——那些靠近核子的——将遭遇一个强烈的力场，因而会发生较大的偏转。这个力场的强度在卢瑟福看来一定像是科幻小说里才有的东西，就像我们今天在科幻电影中看到的那种力场。但即使我们无法在宏观世界中创造这样的力场，它们却的确存在于原子当中。

卢瑟福发现的重点是原子核中的正电荷集中在它的中心，而不是分散开的。从另一方面讲，他把电子描绘成像行星围绕太阳那样围绕着原子核运动，这就完全错了——而他是知道这一点的。

一个问题是，这种太阳系式的类比忽略了太阳系中行星间的相互作用，它也同样忽略了原子中不同电子之间的相互作用。这两种相互作用并不完全一样。行星具有巨大的质量，但却没有净电荷，它们通过引力相互作用；电子带电，但质量很小，它们通过电磁力相互作用。引力是一种极其微弱的作用力，因此一颗行星对另外一颗行星施加的拉力小到出于实用目的可以忽略不计的程度；然而，电子之间相互施加的电磁斥力却是如此强劲，以至于它们将很快扰乱那些漂亮的圆形轨道。

另一个明显的问题是，做圆周运动的行星和电子都会释放出能量波——行星释放的是引力能量，电子释放的是电磁能量。同样还是因为引力极其微弱，在我们的太阳系存在的这几十亿年里，行星损失的能量微乎其微。

（实际上，这种效应在爱因斯坦的引力理论在1916年预测到它之前根本不为人知。）从另一方面讲，因为电磁力是如此强劲，根据麦克斯韦的理论，卢瑟福做轨道运动的电子将释放出它们所有的能量，并在大约在一亿分之一秒的时间里坠入原子核。换句话说，如果卢瑟福的模型是正确的，我们所知的宇宙将不会存在。

如果有什么你认为极有可能颠覆一个理论的描述，这种描述就是宇宙并不存在。那为什么还要认真对待它呢？

这展示了物理学在发展过程中的另一个重点：大多数理论并不是宏大领域的决定性理论，而只是用以解释一种特定情况的具体模型。因此，即使它们有缺点，并且某种模型在某些情况下也会失效，但它毫无疑问是有用的。

就卢瑟福原子模型来说，研究原子的物理学家意识到他的模型对原子核做出了正确的描述，并认为未来的某些实验还将会揭示出重要的遗漏的事实，这些事实将解决电子如何发挥作用以及原子为何稳定的问题。人们不清楚的是，原子需要的并不是一个更聪明的解释，而是一个革命性的解释。然而，皮肤苍白、性格谦逊的尼尔斯·玻尔却有不同的看法。对于年轻的玻尔来说，卢瑟福原子和它的理论的矛盾就如同隐藏在干草堆里的金针。他下定决心要找到它。

* * *

玻尔给自己提出了一个问题：如果原子不像经典理论（至少根据卢瑟福的模型）要求的那样发出能量波，这会不会是因为原子并不遵守经典定律的缘故呢？为了顺着这条推理思路继续追问，玻尔从爱因斯坦关于光电效应的著作中寻求答案。他问道，如果量子概念也适用于原子，这将意味着什么？也就是说，要是原子像爱因斯坦的光量子一样只有某种能量会怎么样呢？这个想法引导着他开始对卢瑟福模型进行修改，并创造出了将被称为玻尔原子的模型。

为了探索他的观点，玻尔把注意力集中到氢原子上，氢原子是最简单的原子，由单一质子组成的原子核和一个围绕原子核运动的电子构成。玻尔工作的困难之处在于，人们当时并不清楚氢原子是否具备那种简单结构——玻尔不得不从汤姆孙展开的一系列实验中推断出氢原子只有一个电子。注

牛顿物理学认为电子会以任意距离围绕原子核运动（就氢原子来说，只是一个质子），只要它的速度和能量处于特定数值，而这些数值由这段距离决定。电子离质子距离越近，原子的能量一定越低。但本着爱因斯坦的精

神设想一下，我们给牛顿理论补充这样一条新定律，它规定——因为某种未知原因——原子不能随意获得任何能量，它的能量值只属于某种离散的或然率，通过这种假设，我们将否定牛顿理论。因为轨道半径由能量决定，对容许能量值的限制将转变成对潜在的电子运动轨道半径的限制。当我们做出这种假设，我们就可以说原子的能量和电子轨道的半径被“量子化”了。

玻尔假定如果原子的性质被量子化了，原子就无法连续地朝向原子核做内向盘旋运动并损失能量，就像经典牛顿理论认为的那样；相反，只有当原子从一个容许轨道跃迁到另一个容许轨道的过程中“重重落下”时原子才会损失能量。根据玻尔的模型，当原子被一种输入能量——比如光子——激发时，它吸收的能量使电子跃迁到一个更靠外、能量也更高的轨道。每次跃迁回一个半径更小的、能量更低的轨道时，一个光量子——一个光子——就将带着一个与两个轨道之间能量差异相符的频率被释放出来。

现在设想一下，还是因为某种未知原因，有一条最靠里的容许轨道——一个能量最低的轨道，玻尔把它称为“基态”。当电子达到这种状态，它将不再损失能量，因此它也不会像卢瑟福的模型预测的那样坠向原子核。玻尔预计一个类似的、有可能更复杂的方案对其他具有更多电子的元素同样有效：他把量子化视为卢瑟福原子稳定性的关键——因而也是宇宙中所有物质的关键。

与普朗克关于黑体辐射的研究以及爱因斯坦对于光电效应的解释一样，玻尔的观点并不是从一般量子理论中得出的，而是只用于解释一种事情的专门概念——在这里指的就是卢瑟福原子的稳定性。这是对人类创造力的证明，玻尔在没有借助任何“母理论”的情况下创造出了他的模型，他的构想就和普朗克以及爱因斯坦的构想一样，是完全正确的。

玻尔后来说，他对原子的思考是在1913年与一个朋友偶然的聊天后才最终定型的。这个朋友使他想起光谱学领域的定律——光谱学研究的是气态元素在被电流或强热“激发”时释放出的光。人们一直都知道——因为某种无法理解的原因——在这种情形下气态元素会释放出一组特定的电磁波，它们的特征是一组有限的频率。这些频率被称为谱线，它和人的指纹类似，可以用来识别元素。和朋友谈话结束后，玻尔意识到他可以利用他的原子模型来预测氢原子的指纹看上去会像什么样子，这样就可以把他的理论和实验数据的验证联系起来。正是科学的这一小步把一个前景广阔或“漂亮”的概念提升为一个严肃的理论。

当玻尔完成数学运算后，得到的结果甚至连他自己都十分吃惊：他的“容许轨道”间的能量差异再现了所有曾经被观察到的许多系列谱线的频率。当他意识到使用他简单的模型，他再现了光谱学家所有让人迷惑的公式并

解释了它们的起源时，很难想象只有27岁的玻尔会高兴成什么样子。

玻尔在1913年7月发表了他关于原子的杰作。为了这个成就他十分卖力地工作。从1912年夏天直到1913年2月他受到启发的那一刻，他没日没夜地与他的观点进行角力，投入的时间甚至连他勤奋的同事都十分敬畏。实际上，他们认为他会因劳累而猝死。有一件事情可以说明一切：他原本安排在1912年8月1日结婚，他也的确结了，但他取消了在风景如画的挪威度蜜月的计划，而是把这段时间花在了剑桥一家宾馆的客房里，给他的新婚妻子讲述一篇关于他工作的论文。

玻尔的新理论如同一锅大杂烩，很明显只是一个开始。比如，他把容许轨道称为“静止状态”，因为电子在没有受到辐射时——就像经典理论要求的那样——它们的状态就好像它们没有发生移动。另一方面，他经常提到电子的“运动状态”，想象着它们围绕原子核在容许轨道上运动，直到它们要么跃迁上一个能量更低的轨道，要么受到外来辐射的激发跃迁上一种更高的能量状态。我之所以会提起这个，是因为它显示出玻尔使用了两种相互矛盾的形象。这就是许多理论物理先驱解决问题的办法——在文学领域中，我们被告知不得混淆比喻，但在物理学领域，如果我们知道一个比喻并不是完全合适，把它和另一个比喻（谨慎地）混合起来也是很常见的做法。

在这种情况下，玻尔并不是特别喜欢太阳系原子这个经典表述，但这是他的起点，为了创造他的新理论，他在使用经典物理学公式把半径和电子轨道的能量联系起来的同时，又在新量子观点中加入了静止状态原理等观点，因而创造出一个经过修改的表述。

人们对玻尔原子最初的反应大相径庭。在慕尼黑大学，一位名叫阿诺德·索末菲（1868—1951）的富有影响力的物理学家不但立即意识到这篇著作是科学领域的一座里程碑，他自己还开始研究这个观点，特别是探索它与相对论之间的联系。同时，爱因斯坦称玻尔的发现是“（有史以来）最伟大的发现之一”。[注]至于玻尔原子到底让他那个时代的物理学家有多吃惊，最能说明问题的或许是爱因斯坦的另一句评论。爱因斯坦曾经不但勇敢地提出了光量子的存在，还提出了空间、时间和重力相互交织的观点，但在提到玻尔原子时，他说他之前有过类似的想法，但由于这些想法“极其新奇”，他没有勇气发表它们。

发表观点需要勇气，这在玻尔收到的一些其他反应中得到了印证。比如，玻尔后来回忆道，在德国哥廷根大学一所顶尖研究机构，人们对他观点的一致看法是“整个东西完全就是一些糟糕的胡说八道，和骗局无异”。哥廷根的一位光谱学专家把哥廷根的态度付诸文字：“我们以最高程度的遗憾

表示，这篇著作居然被这样糟糕的信息污染，暴露出如此的无知。”[注]同时，英国物理学界一位重要的老前辈瑞利勋爵说他根本无法让自己相信“自然会以那种方式运行”。[注]然而他又补充道——颇富先见之明地——“年过七十的人在表达对于新理论的看法时不应该草率”。[注]另一位英国顶尖物理学家亚瑟·爱丁顿同样对此不怎么热心，他之前就已经把普朗克和爱因斯坦的量子观点轻蔑地视为“一种德国发明”。[注]

甚至连卢瑟福的反应也是负面的。一个原因是，他对于理论物理学没有多少兴趣。但玻尔的著作让他感到不满的地方在于——毕竟，这是他自己原子模型的一个修订版——他的丹麦同事并没有提供机制来解释电子是如何在他假定的能级间完成跃迁的。比如，如果电子在进入一个与较小轨道对应的能级时，它“跃迁”上新轨道，没有连续地做内向“盘旋”，那么这种“跃迁”是怎样一种路径呢？又是什么引起它这么做的呢？

结果将证明，卢瑟福的反对完全指向了问题的核心。不仅因为这样的机制从未被发现，还因为当量子理论发展成为成熟的一般自然理论时，它将规定这样的问题没有答案，因而这样的问题也就没有在现代科学中占得一席之地。

科学界最终用了10年时间（1913—1923）才相信玻尔观点的正确性——因而也就相信了普朗克和爱因斯坦早期的著作。[注]通过把玻尔理论应用于比氢原子更重的其他元素的原子，玻尔和其他人意识到应该根据原子序数来为元素排序，而不像门捷列夫曾经那样根据原子的重量排序，他们可以剔除门捷列夫元素周期表中的部分错误。

原子的重量由原子核中质子和中子的数量决定。相比之下，原子序数等于质子的数量，并且，由于原子整体不带电荷，质子的数量也就是原子拥有的电子的数量。一般来说，原子核中含有更多质子的原子会含有更多的中子，但情况并不总是如此，因此，在为元素排序时这两种测量方法的含义也不相同。玻尔理论证明原子序数是建立元素周期表的正确参数，因为正是质子和电子决定了一种元素的化学性质，而不是它的中子。多亏了玻尔，科学界最终在50多年后得以解释门捷列夫神秘的周期表为何有效了。

随着量子观点发展成为一个成熟的，并将取代牛顿定律的理论框架，物理学家终于可以通过公式在理论上推导出所有原子的性能——尽管在大多数情况下这将需要用到超级计算机技术。但人们不一定非得等待超级计算机来验证玻尔关于原子序数重要性的观点：按照门捷列夫的惯例，他预测了一种尚未被发现的元素的性质——遗憾的是，由于门捷列夫的体系基于原子重量，他把这种元素预测错了。

这种元素不久后就在1923年被发现了，它根据*Hafnia*被命名为铪，在拉丁语中它指的是玻尔的故乡哥本哈根。有了这个，没有物理学家（或化学家）可以再怀疑玻尔理论的真实性了。[注]大概50年后，在1997年，玻尔的名字将和门捷列夫的名字一样加入元素周期表，它被用来命名第107号元素𨨏。在同一年，他曾经的导师——以及某些时候的批评家——卢瑟福也收获了荣誉，他的名字被用来命名第104号元素𬬻。[注]

---

1. 除门捷列夫、玻尔、卢瑟福，以及莉泽·迈特纳——之前曾提到过她——还有12位科学家的名字被用来命名元素：瓦西里·萨马尔斯基–拜克霍夫茨（钐），约翰·加多林（钆），玛丽·居里夫人和皮埃尔·居里（锔），阿尔伯特·爱因斯坦（锿），恩里科·费米（镄），阿尔弗雷德·诺贝尔（锘），欧内斯特·劳伦斯（铹），格伦·T. 西博格（𬭳），威廉·伦琴（𬬭），尼古拉·哥白尼（鿔）以及格奥尔基·弗廖罗夫（𫓧）。

2. Ld Mldi eonaronow,*Feynmans' Rainbow: A Search for Beauty in Physics andin Life* (New York: Vintage, 2011), 94–95.

3. Abraham Pais,*Subtle Is the Lord: The Science and Life of Albert Einstein*(Oxford: Oxford University Press, 1982), 383.

4. For more on Bohr's life and science and his relationship with ErnestRutherford, see Niels Blaedel,*Harmony and Unity: The Life of Niels Bohr*(New York: Springer Verlag, 1988), and Barbara Lovett Cline,*The Men WhoMade a New Physics* (Chicago: University of Chicago Press, 1965), 1–30,88–126.

5. "Corpuscles to Electrons," American Institute of Physics, accessed October28, 2014, http://www.aip.org /history/electron/jjelectr.htm.

6. R. Sherr, K. T. Bainbridge, and H. H. Anderson, "Transmutation of Mercuryby Fast Neutrons,"*Physical Review* 60 (1941): 473–79.

7. John L. Heilbron and Thomas A. Kuhn, "The Genesis of the Bohr Atom," in*Historical Studies in the Physical Sciences*, vol. 1, ed. Russell McCormmach(Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 1969), 226.

8. William H. Cropper,*Great Physicists: The Life and Times of LeadingPhysicists from Galileo to Hawking* (Oxford: Oxford University Press, 2001),317.

9. For more on Geiger, see Jeremy Bernstein,*Nuclear Weapons: What You Needto Know* (Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2008), 19–20; andDiana Preston,*Before the Fallout: From Marie Curie to Hiroshima* (NewYork: Bloomsbury, 2009), 157–58.

10. Actually, it would be a hundred billion tons, for Everest weighs about a billiontons. See “Neutron Stars,”*NASA Mission News,* August 23, 2007, accessedOctober 27, 2014, http://www.nasa.gov /mission_pages/GLAST/ science/neutronstarsrt.htm.p_

11. John D. McGervey,*Introduction to Modern Physics* (New York: AcademicPress, 1971), 76.

12. Stanley Jaki,*The Relevance of Physics* (Chicago: University of Chicago Press, 1966), 95.

13. Blaedel,*Harmony and Unity,* 60.

14. Jaki,*Relevance of Physics,* 95.

15. Ibid.

16. Ibid., 96.

17. Blaedel,*Harmony and Unity,* 78–80; Jagdish Mehra and Helmut Rechenberg,*The Historical Development of Quantum Theory,* vol. 1 (New York: SpringerVerlag, 1982), 196, 355.

18. Blaedel,*Harmony and Unity,* 79–80.

12.量子革命

现在无论有多少才华横溢，求知若渴的人专注于研究量子，也无论他们猜测或者发现了多少个别真理，到20世纪20年代初期，物理学界依然没有一个关于量子的普遍理论，或者提出这种理论的可能性。假如玻尔提出的某种原理是正确的，它将为原子的稳定性以及它们的谱线提供解释，但这些原理为什么是正确的？你又该如何运用它们来分析其他体系？没有人知道答案。

许多量子物理学家开始变得心灰意冷。未来的诺贝尔奖得主，即将引入“光子”这个术语的马克斯·玻恩（1882—1970）写道：“我毫无希望地思索着量子理论，试图找出一种计算氦原子和其他原子的秘诀；但我并没有取得成功……量子实在是一团毫无希望的乱麻。”注另一位未来的诺贝尔奖获得者，将会建议并提出自旋性质数学理论的沃尔夫冈·泡利（1900—1958）是这样说的：“物理学现在非常混乱；无论如何对我来说它都太难了，我希望自己是一个电影喜剧演员，或者从事类似的什么工作，而从来没有听说过任何关于物理学的东西。”注

大自然给我们出了许多谜题，而我们必须理解它们。物理学家有一个特点，那就是他们始终相信在这些谜题背后隐藏着意义深远的真相。我们相信大自然由普遍法则统治，而不是各种互不相干现象的混合。早期研究量子的人并不知道量子的普遍定律是什么，但他们相信这样的理论一定存在。他们探索的这个世界对于解释有着顽固的抵抗力，但他们想象它可以被理解。他们的梦想滋养着他们。和我们一样，他们在怀疑和绝望时会受到伤害，但他们依然在信仰的激励下沿着这条将会耗费他们数年光阴的艰难的探索之路奋勇向前，相信在这条路的另一头必定会有真理的奖赏。在任何艰辛的事业中，我们发现那些成功者都具备强烈的信念，因为那些意志不坚的人在成功之前就已经退出。

我们很容易理解玻恩和泡利等人的绝望，因为量子理论不仅本身具有挑战性，而且量子理论发展所处的时代也很艰难。大多数量子先驱在德国工作，或者在德国与玻尔通过集资于1921年在哥本哈根大学创立的研究所之间来回穿梭，因此，当他们周遭的社会和政治秩序逐渐失序时，他们命中注定将会在这样一个时期展开对科学新秩序的研究。1922年，德国外交大臣遇刺。1923年，德国马克的价值是它战前价值的一万亿分之一，买一公斤面包需要5 000亿这样的“德元”。尽管如此，新量子物理学家还在从理解原子以及那个微小层面的自然基本定律中寻求养分。

这种养分终于在那个年代中期开始陆续出现。它始于一个23岁，名叫维尔纳·海森堡（1901—1976）的年轻人在1925年发表的一篇论文。

* * *

海森堡出生在德国的乌兹堡，是一位古典语言教授的儿子，在很小的时候就被认为天资聪颖——以及争强好胜。注 他父亲鼓励这种竞争精神，海森堡经常跟大他一岁的兄长打架。这种争执以一次血腥的斗殴告终，这一次他们用木椅攻击对方，随后叫了休战——他们的休战之所以会延续，主要是因为他们走上了各自的人生道路，离开了家庭，终其一生再也没有和对方说过话。在未来的日子里，海森堡还将同样凶猛地攻击他的工作带给他的挑战。

海森堡一直把竞争当作个人挑战。他对滑雪并没有特别的天赋，但他通过训练变成了一名优秀的滑雪者。他热衷长跑、练习大提琴和钢琴。但最重要的是，当他还在上小学时，他发现自己有算术方面的天赋，这使他对数学及其应用产生了浓厚的兴趣。

1920年夏天，海森堡决定考取数学博士学位。要想被录取必须说服一位教员做你的担保人，通过父亲的关系，海森堡获得机会参加慕尼黑大学知名数学家费迪南德·冯·林德曼的面试。结果证明，这次面试并不是那种你有时候通过走后门得到的机会，在这样的面试中，面试官或许会给海森堡提供茶水和黑森林蛋糕，还会告诉海森堡他们对他的聪明才智早已如雷贯耳。相反，这是一次很糟糕的面试，林德曼还有两年就将退休，对一年级新生并不感兴趣，他办公桌上卧着的一只狮子狗不停地狂吠，让耳背的他很难听清楚海森堡在说什么。然而，最终毁掉海森堡机会的似乎是他提到他正在阅读的一本关于爱因斯坦相对论的书，这本书由一位名叫赫尔曼·魏尔的数学家撰写。在听到这个年轻人对物理学的兴趣后，作为数字理论家的林德曼突然终止了面试，说道：“假如那样的话，你根本就不懂数学。”注

林德曼这句话的意思或许是对物理学的兴趣显示出糟糕的品位，然而，作为一名物理学家，我认为他真正的意思是，在接触了一个更有趣的科目后，海森堡将很难再有耐心去研究数学。无论哪种情况，林德曼的傲慢和僵化改变了历史的进程，因为假使他接纳了海森堡，物理学将会损失一位其观点将成为量子理论核心的人物。注

在被林德曼拒绝后，海森堡并没有多少选择余地，他决定去阿诺德·索末菲那里尝试申请物理学博士，索末菲是玻尔原子的重要支持者，此时他已经对这种理论做出了自己的贡献。索末菲瘦小，秃顶，留着一把大胡子，没

有养狮子狗，年轻的海森堡阅读魏尔的书给他留下了良好的印象。但这种印象也没有深刻到让他决定马上接受他，但也足够让他为海森堡提供暂时担保。“你或许知道一些东西，你或许什么也不知道，”索末菲说，“我们以后就知道了。”注

海森堡当然知道一些东西。他知道的东西足够让他在1923年从索末菲那里获得博士学位，在1924年，他甚至获得了更高等的“特许任教资格”学位，可以让他去哥廷根大学在玻恩手下工作。但他通往不朽的道路实际上却开始于1924年秋天去哥本哈根拜访尼尔斯·玻尔。

当海森堡抵达时，受到误导的玻尔正在努力改进他的原子模型，海森堡也加入其中。我说“误导”并不只是因为他的努力白费了，也是因为他的目标：玻尔想把光子，也就是爱因斯坦的光量子从他的模型中剔除。这听起来或许很奇怪，因为最初正是光量子这种概念启发玻尔去思考原子或许是因为受到限制才只会有某种离散的能量。尽管如此，玻尔和大多数物理学家一样不太情愿接受光子存在的现实，因此他问自己，人们可以创造一个不包含光子的玻尔原子的变体吗？注玻尔相信他可以。我们曾经见过玻尔努力工作并最终获得成功的故事，但这一次他的努力将一无所获。

当我还是学生时，我的朋友和我把许多物理学家视为偶像。我们崇拜爱因斯坦是因为他那无懈可击的逻辑和激进的观点。我们崇拜费曼和英国物理学家保罗·狄拉克（1902—1984）是因为他们发明了表面上看不合规定的数学概念，并通过它们得到了神奇的结果。（数学家后来终究会发现一种证明它们的方法。）我们崇拜玻尔是因为他的直觉。我们把这些人视为英雄，超人般的天才，他们的思路总是那么清晰，观点总是那么正确。这没有什么不正常，我猜——艺术家、企业家以及体育迷都能说出几个他们认为比生命还要伟大的人物。

在我的学生时代，我们被告知玻尔对量子物理学的直觉是如此让人印象深刻，以至于他似乎“和上帝有直接连线”。但在讨论早期的量子理论时，他们只会谈论玻尔那伟大的洞察力，而很少会提及他的许多错误观点。这很自然，因为随着时间的流逝，好的观点留了下来，不好的则被人遗忘。不幸的是，这给我们留下一种错误印象，即科学比它实际上要更简单，更容易——至少对某些“天才”来说是这样。

伟大的篮球明星迈克尔·乔丹曾经说过：“在我的职业生涯中，我投丢了超过9 000个球，输掉了差不多300场比赛，有26次我被托付来完成制胜一球，但我投丢了。我在生命中一次又一次地失败。这就是我为什么会成功。”注他是在耐克广告上说的这段话，因为这样一位传奇人物在经历失败之后又继续前行的故事听起来非常鼓舞人心。但对任何在发现或创新领

域工作的人来说，听一听玻尔的误导概念或牛顿在炼金术上毫无成果的努力，知道我们的智力偶像也会和我们一样产生错误观点和失败，这具有同样的价值。

玻尔当初应该考虑一下他的玻尔原子是不是太激进了，这种想法很有意思，但毫不令人意外，因为科学和社会一样，是建立在某种共同的观点和信仰之上的，但玻尔原子并不符合这个标准。结果，从伽利略到牛顿，从玻尔到爱因斯坦——以及未来的先驱——即使他们的想象力帮助他们创造了未来，他们仍然还有一只脚停留在过去。

在这个方面，科学领域的“革命者”与其他领域具有前瞻性思维的个人没有什么不同。以亚伯拉罕·林肯为例，他是解放美国南部奴隶的拥护者，但却从来没有放弃自己早已过时的信仰，即不同民族不可能共同生活在“社会和政治的平等中”。注林肯意识到或许会有人认为他反对奴隶制的立场跟他对于种族不平等的包容不一致。但他在为自己对白种人优越性的认可辩护时称，它是否“与公正相符”不是一个关键问题，因为白人的优越性是一种“普遍感受”，无论“有没有充分的依据，都不能轻易地漠视”。注换句话说，抛弃白人的优越性甚至对他也是一种过于激进的举动。

如果你问别人他们为什么会相信这个或那个，他们不会像林肯那样坦率或自觉。没有几个人会照实说，他们相信某样东西是因为大家都相信它。或者“因为我一直都相信它”，或者“因为家庭和学校教育我应该相信它”。但是，就像林肯说的那样，这通常是一个很好的理由。在社会中，共同的信仰创造了文化，有时候也会制造不公。在科学、艺术以及其他重视创造力和创新性的领域，共同的信仰变成了阻碍进步的思维桎梏。这就是为什么改变通常都是一点一滴地出现，这也是为什么玻尔在试图改变他的理论时会畏首畏尾。

假如玻尔的新理论注定会失败，它却产生了一个非常幸运的结果：它迫使年轻的海森堡去深入思考玻尔原子初始理论的含义。他的分析逐渐使他得出一个激进的物理学新观点：放弃对原子内部活动方式的物理想象是可行的，甚至是必要的——比如电子的运动轨道，它是我们在头脑中想象出来的，但在现实中却无法观察。

和经典物理学理论一样，玻尔的理论依靠的是描述电子的位置和轨道速度等特性的数值。在牛顿所研究的物体世界中——抛射物、钟摆、行星——位置是可以被观察和测量的。但在实验室中却无法观察原子是否游移不定，或者如果它们的确处于运动状态，它们的速度又有多快。海森堡分析，假如经典概念——例如位置、速度、路径、轨道和抛物线——在原子层面上无法被观察到的话，人们或许不应该再试图创造一门基于它们的原

子科学——或其他体系。为什么非得执着于这些旧观点呢？海森堡判定它们就是17世纪的思维束缚。

海森堡问自己，有没有可能发展出一种基于可被直接测量的原子数据——例如原子释放的辐射的频率和振幅——的理论？

卢瑟福之所以反对玻尔原子模型，是因为玻尔没有为电子如何在原子能级之间完成跃迁提供机制；海森堡将为这个批评做出解答，但不是通过提供这种机制，而是在有人提起电子时宣称没有什么机制，也不存在什么路径，或者至少物理王国之内不存在这个问题——因为物理学家可以测量在这个过程中吸收或释放的光，但却无法亲眼看到这个过程。到海森堡在1925年春天回到哥廷根并在玻尔的研究所担任讲师时，发明出一种完全基于可测量的数据的新方法来研究物理学变成了他的梦想——他的目标。

对任何人来说，创造一门激进的新科学，抛弃牛顿对于现实的直觉描述，否定位置和速度等我们可以想象和理解的概念，这都是一个大胆的目标，更别说像海森堡这样一个23岁的年轻人了。但和在22岁就改变了世界政治版图的亚历山大一样，年轻的海森堡将引领一场重塑世界科学版图的行军。

* * *

海森堡根据灵感创造的理论将取代牛顿运动定律作为我们自然基本理论的地位。马克斯·玻恩将其称为“量子力学”，以便把它和通常被称为牛顿力学或经典力学的牛顿定律区别开来。注 但物理学理论只能通过它们准确的预测能力加以验证，而不是一致的认同或者品位，因此，人们或许想知道一个像海森堡那样的基于奇怪观点的理论将如何“取代”一个像牛顿定律这样的已经确立的成功理论。

答案是，尽管量子力学的概念框架与牛顿的大相径庭，但这两种理论的数学预测能力通常只在原子或更小的体系中有所不同，因为牛顿定律在这个层面上失效了。因此，一旦它发展完善，量子力学将能够解释原子的奇特行为，而不会与牛顿理论提供的对日常现象的完整描述相矛盾。海森堡和其他致力于发展量子理论的人知道一定会是这种情况，他们为这种观点发展出一种数学表达，用来为他们尚在发展的理论提供有用的验证。玻尔将其称为“对应原理”。

海森堡是如何从一个在当时无异于一种哲学偏好的东西中创造出一种具体理论的呢？他的挑战是把物理学应该基于“可观察量”——我们测量的数量——的概念转变为可被用来描述物理世界的数学框架，就像牛顿定律那样。他发明的理论可以应用于任何物理体系，但他是在原子世界的背景下

发展它的，最初的目标是通过一种数学普遍理论来解释玻尔原子模型成功的原因。

海森堡首先做的是为原子挑选合适的可观察量。因为在原子世界中，我们测量的是原子释放的光的频率以及谱线的振幅或强度，他选择的正是这些性质。接下来，他使用传统的数学物理学去推导传统的牛顿式“可观察量”——例如位置和速度——与谱线的这些数据之间的关系。他的目标是利用这种联系以量子可观察量替换牛顿物理学中的可观察量。这是一种同时需要创造力和勇气的举措，因为它要求海森堡将位置和动力转化为看起来既新鲜又怪异的数学实体。

举例来说，尽管位置是由具体指定的一个单独的点来定义的，但光谱数据需要一种不同的描述方法，这也就是为什么会需要这种新型变量的原因。原子释放的光的每一种性质——例如颜色和强度——形成的不只是单一数字，还是一个完整的数字阵列。这些数据之所以会构成一个数组，是因为一条谱线对应的是从原子的任何初始状态到任何终极状态的一次跃迁——为每一对可能的玻尔原子能级产生了条目。如果这听起来有些复杂的话，别担心——它就是很复杂。实际上，当海森堡第一次想出这个方案时，连他自己都说“非常奇怪”。注 但他工作的要点是把人们想象的电子轨道从他的理论中剔除，并用纯粹的数量值来替代。

和卢瑟福一样，那些在海森堡之前研究原子的人试图找出原子过程背后的一种机制。他们把原子内部看不见的东西视为真实存在的，并试图通过对其内部东西行为的猜测——例如沿轨道运动的电子——来推导他们所观察的谱线的本质。他们的分析一直假定原子构成要素的基本特性和我们在日常生活中习惯的东西相同。只有海森堡的想法与众不同，他勇敢地宣称电子的轨道超出了观察范围，并不是真实存在的，因而不能在这个理论中占有一席之地。这不但是海森堡研究原子的方式，也是他研究任何物理体系的方式。

m×n 矩阵

$x_{i,j}$ n 列 j 变量 m行 i 变量

$$\begin{pmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & x_{1,3} & \cdots \\ x_{2,1} & x_{2,2} & x_{2,3} & \cdots \\ x_{3,1} & x_{3,2} & x_{3,3} & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix}$$

在海森堡的理论中，位置由数字的无限矩阵或数组表示，而不是我们熟悉的空间坐标

通过坚决主张这种分析方法，海森堡抛弃了人们牛顿式的世界形象，例如物体独立存在，具有速度和位置等明确性质。他的理论一旦完善，将要求我们去接受一个基于不同概念设计方案的世界，在这样一个世界中，物体的轨迹乃至它的过去和将来都不是明确划定的。

鉴于当今世界有太多人难以适应短信和社交媒体等新技术，人们只能通过想象去猜测一个人在思想上该有多开放才能调整思路去接受一种说组成你的电子和原子核没有具体存在形式的理论。但海森堡的方法需要的就是这种开放态度。它不只是一种新物理学——还是一种全新的现实概念。这样的问题促使马克斯·玻恩去质疑物理学和哲学长达几个世纪的分裂。“我现在相信，”他写道，“理论物理学实际上就是哲学。”[注]

海森堡逐渐开始理解这些观点，他的数学运算也取得了进展，他变得越来

越激动。但就在此时他却患上了花粉热，病得非常严重，以至于不得不离开哥廷根，去北海一座几乎寸草不生的岩石岛屿休养。他整个脸肿胀得骇人。尽管如此，他依然没日没夜地继续工作，完成了他关于这个观点的第一篇论文，这篇论文将彻底改变物理学。

回到家后，海森堡详细记录下他的发现，并给他的朋友泡利和玻恩分别寄去一份副本。这篇论文概述了一种方法，并把它应用在了一些简单问题上，但海森堡并没能利用他的观点去计算任何具有实际意义的东西。他的著作非常粗略，复杂到吓人，还极其神秘。对玻恩来说，阅读它的感觉一定很像在鸡尾酒会上和一个不停讲话但他的话没有任何意义的人的交谈。大多数人在面对一篇晦涩难懂的论文时，都会先看上几分钟，接着把它丢在一边，然后开始喝葡萄酒。但玻恩一直坚持着。到最后，他对海森堡论文的印象如此深刻，以至于他立即给爱因斯坦写信，告诉他一位年轻科学家的观点“完全正确且意义深远”。[注]

和玻尔以及海森堡一样，玻恩也受到过爱因斯坦相对论的启发，他注意到，海森堡对于可被测量的东西的关注与爱因斯坦在创造相对论时对如何计量时间的操作方面的谨慎关注相似。[注]

然而，爱因斯坦并不喜欢海森堡的理论，他正是在量子理论发展的这个节点开始与量子分道扬镳：爱因斯坦不会赞同一个否认定义明确的物体现实存在的理论，在这个现实中物体具备明确的性质，例如位置和速度。原子的性质可以通过一种没有参考原子轨道的暂时理论加以解释，这个他可以接受。但一种宣称这样的轨道不存在的基本理论——这个他不会赞同。就像他后来写的那样：“我倾向于相信物理学家不会永远满足于……对现实的间接描述。”[注]

海森堡对自己创造的东西也没有把握。他后来描述道，某天晚上，当他即将有所发现时，他一直工作到凌晨3点，累得头晕眼花，但由于对他的新发现过于激动，他甚至无法入睡。然而，当他为陈述观点的第一篇论文撰写手稿时，他在信中对他父亲写道：“我目前的进展不是特别顺利。我并没有写出太多东西，也不知道另一篇（论文）会不会从这里面冒出来。”[注]

与此同时，玻恩一直在苦苦思索海森堡奇怪的数学。某天他突然灵光一现：他在别的地方见过一个方案与海森堡的类似。他回想起来，数组就像某种被数学家称为“矩阵”的东西。

矩阵代数在当时是一个神秘晦涩的科目，很明显海森堡又重新使用了它。

玻恩请泡利帮他把海森堡的论文翻译成数学家的矩阵语言（并扩展这种语言以便将海森堡矩阵代数的无限数字行列考虑在内）。未来的诺贝尔奖得主泡利变得十分不安。注他指责玻恩试图通过引入“没用的数学”和“乏味复杂的形式主义”毁掉他朋友美丽的“物理观点”。

实际上，矩阵语言具备强大的简化功能。玻恩又找来他的学生帕斯夸尔·乔丹做帮手，几个月后，海森堡、玻恩以及乔丹在1925年11月提交了一篇关于海森堡量子理论的论文，这篇论文现在是科学史上的一座里程碑。此后不久，在充分理解了他们的著作后，泡利使用这种新理论得出了氢元素的谱线，并展示了它们是如何受到电场和磁场的影响的，这在以前是不可能发生的。这是这种即将推翻牛顿力学的新兴理论的首次实际应用。

* * *

2 000多年前原子概念诞生，200多年前牛顿发明出数学力学，20多年前普朗克和爱因斯坦引入量子概念。从某种程度上说，海森堡的理论是所有这些长长的科学思维脉络的顶点。

问题是，一旦它发展成熟，海森堡的理论需要30页的篇幅来解释原子的能级，而玻尔理论只用了几句话来做说明。为此，我那实用主义至上的裁缝父亲说：“天哪，就为了这个他研究了这些年？”然而海森堡的理论却是更好的，因为它的结果基于深刻的原理，而不是玻尔专门的假设。因为这个原因，你或许会认为它将很快被人们接受。但大多数物理学家并没有直接参与对一种量子理论的研究，他们的想法似乎跟我父亲的类似。对他们来说，30页和几句话比起来并不算是一种进步。他们——很明显卢瑟福就是其中一员——既不为所动也没有兴趣，他们看待海森堡的方式就像你看待一个告诉你他可以用一个新自动调温器解决你的问题，但你最好还是换辆新车的汽车修理工。



维尔纳·海森堡(左)和尼尔斯·玻尔

然而，一小群量子理论专家却有着截然不同的反应。他们几乎毫无例外地感到震惊不已。因为海森堡那复杂的理论以某种深奥的意义解释了玻尔的临时氢原子理论为什么会有效，也为观察到的数据提供了完整的描述。

尤其对于玻尔来说，这是他开启的一段探索之旅的高潮。他明白他的原子只是一个专门的临时模型，注定要通过一个更普遍的理论加以解释，并且，他相信这个理论就是海森堡的理论。“由于海森堡的上一篇著作，”他写道，“愿望实现了，这个……长期以来一直都是我们的核心愿望。”[注]

有那么一段时间，物理学处于一种奇怪的境地，就像在世界杯的赛场踢进了制胜一球，但只有少部分球迷注意到了。讽刺的是，几个月之后出现的两篇论文才最终把量子理论从一种只有专业人员才感兴趣的理论提升成为一种所有物理学背后的基本理论，在1926年1月和2月发表的这两篇论文描述了另一种量子的普遍理论，这种理论使用了完全不同的概念和方法——表面上看，一个看待现实的不同视角。

这个新出现的竞争理论把原子中的电子描述成一种波——这是一种物理学

家习惯于想象的概念，尽管当然不是在电子的背景下。奇怪的是，虽然存在这样的不同，但它和海森堡的理论一样也能解释玻尔原子。自希腊人以降，科学家就不得不在没有任何描述原子的理论的情况下勉强将就。现在他们似乎有了两种理论。二者看上去互不相容，一个认为自然由物质波和能量构成，另一个坚持认为把自然视为由任何东西构成的都是毫无意义的，它规定我们只需要考虑数据间的数学关系。

新量子理论是奥地利物理学家埃尔温·薛定谔（1887—1961）的成果，它与海森堡的理论在风格上的差异就像他们两个人，以及他们完成突破的地点之间的差异。鼻窦肿胀的海森堡在一个岩石小岛上孤独地完成了他的著作，而薛定谔的作品则完成于圣诞节假期，当时他和一名情妇正在阿尔卑斯山的休闲小镇阿罗萨度假。他“在生命中一个迟来的情欲爆发期完成了他伟大的工作”，一位数学家朋友说道。注这位数学家所说的“迟来的”指的是薛定谔38岁的高龄。

这位数学家对薛定谔的高龄或许说到点子上了。我们一次又一次地目睹年轻的物理学家接受新观点，而年长的则更渴望传统的做事方式，就好像一个人年纪越大，就越不容易接受世界的变化。结果证明，薛定谔的作品实际上就是这种倾向的另一个例子——这颇具讽刺意味，因为薛定谔创立他理论的动力是他渴望拥有一种比起海森堡的理论来说更像传统物理学的量子理论：薛定谔奋力维护他熟悉的东西，而不是试图颠覆它。

和更年轻的海森堡不同，薛定谔对电子在原子中的运动展开了想象。尽管他奇异的“物质波”并没有直接赋予电子像玻尔的轨道那样的牛顿物理学性质，但他新的量子“波理论”——最初没人知道应该如何解释——却有希望避免海森堡的理论要求的那种令人不快的看待现实的方式。

它是物理学家欣赏的一件替代品。在薛定谔之前，量子力学在获得认可方面进展缓慢。由于涉及无数个矩阵方程，海森堡那陌生的数学看起来复杂到吓人，物理学家在支持象征性的数组而抛弃他们可以想象的变量时也很不自在。从另一方面来说，薛定谔的理论便于使用，它基于的这个方程与那些物理学家在研究生时代曾经研究过的声波和水波相似。它是经典物理学家分析问题的基本方法，可以使量子物理学的过渡变得相对容易。同样重要的是，尽管依然没有使用轨道等牛顿式概念，薛定谔通过提供一种想象原子的方式使量子理论变得更容易让人接受——这与海森堡一直为之努力的东西形成了对照。

甚至连爱因斯坦也喜欢薛定谔的理论——在刚开始的时候。他曾经思考过物质波的概念，先前还与这个奥地利人一起工作过。“你作品中的观点来自真正的天赋！”注他在1926年4月给薛定谔的信中这样说道。10天后，

他再次给薛定谔写信："我相信你对量子状态的构想已经让你取得了决定性的进展，就像我相信海森堡和玻恩的方法具有误导性一样。"[注]他在5月初又写信高度赞扬薛定谔的作品。

然而就在同一个月，也就是1926年5月，薛定谔宣布了另一个惊人的消息：连他自己都感到惊愕的是，他发表的一篇论文表明他的理论和海森堡的理论在数学上是相等的——二者都是正确的。也就是说，尽管这两种理论使用了不同的概念框架——对于自然"内部"情况的不同观点（实际上，海森堡甚至拒绝往内部看）——它们被证明只在语言上有所不同：这两种理论对于我们观察到的东西的看法是一样的。

让事情变得更复杂（或者更有趣）的是，20年后，理查德·费曼将创造第三种量子理论构想，它与海森堡和薛定谔的理论在数学和概念框架上很不一样，但在数学上与更早的理论相等——表达了同样的物理原理，做出了完全相同的预测。

华莱士·斯蒂文斯写道，"我有三种思维/如同一棵树/上面有三只乌鸫"，[注]但这种情景转化成物理学看起来或许会很奇怪。如果物理学掌握着任何"真理"，会有不止一种"正确"理论吗？是的，即使是物理学也有很多看待事物的方式。现代物理学尤其如此，在现代物理学中，我们"看到的"东西，例如原子、电子，和希格斯玻色子，实际上并不能"被看到"，这促使物理学家从数学中，而不是从一个能够触碰的现实中创造出他们脑海中的形象。

在物理学中，一个人可以根据一组概念提出一套理论，而另一个人可以根据一组不同的概念为同一种现象提出另一套理论。使这种活动不同于左右翼间政治斗争的是，在物理学中，一种观点要想被认为有效，必须通过实验的验证，这就意味着替代理论必须得出相同的结论——这是政治哲学很少会做的事情。

这又把我们带回到理论是被发现还是被发明的老问题上。在没有深入研究外部客观现实是否存在这样一个哲学问题的情况下，人们可以说创造量子理论的过程是某种意义上的发现，物理学家在探索自然的过程中意外地发现了自然的很多原理，然而，量子理论却是被发明的，原因在于科学家所设计和创造的许多不同概念框架具备同样的功能。这就如同物质能够以波或者粒子的形式呈现，因而描述它的理论也可以具备看起来相互矛盾的特征。

薛定谔发表的论文显示他的理论和海森堡的理论相同，但那个时候还没有人能正确理解他的构想。尽管如此，他的证据清晰地表明，未来的研究工

作将显示他的方法提出的这个哲学问题在海森堡版的理论中早已显而易见。因此，在这篇论文后，爱因斯坦再也没有写过赞同量子理论的东西。

即使薛定谔自己很快也把量子理论作为研究重心，他还是认为假如他知道“他的论文会引发什么样的结果”，他或许就不会发表。[注]他在试图取代海森堡那令人难以接受的理论时创造了他那看上去无冒犯之意的理论，但二者的相等性意味着他并没有理解自己著作中令人反感的含义。最终，他只能激发自己的热情去推动他原本并不愿意接受的新量子观点向前发展。

在他论文的一个不同寻常的情绪化脚注中，薛定谔写道，海森堡的方法让他“感觉很沮丧，虽然谈不上厌恶”，“对我来说它很难理解，并且缺乏直观性”。[注]这种厌恶是相互的。在读完薛定谔提出他理论的论文后，海森堡在给泡利的信中说道：“我越琢磨薛定谔理论中的物理部分，就越觉得它恶心……薛定谔写的关于它的论文的直观性（就是）一派胡言。”[注]

这种竞争被证明只是单方面的，因为薛定谔的方法将很快胜出，大多数物理学家都会选择他的方法来解决大多数问题。研究量子理论的科学家的人数很快上升，但使用海森堡的构想的科学家的人数却下降了。

即使是曾经帮助海森堡发展理论的玻恩也被薛定谔的方法征服，海森堡的朋友泡利甚至赞叹利用薛定谔的方程来推导氢元素的光谱有多容易。这让海森堡感觉很不愉快。与此同时，玻尔专注于更深入地理解这两种理论之间的关系。最终，英国物理学家保罗·狄拉克为这两种理论之间的深刻联系做了明确的解释，他甚至还发明出一种他自己的混合形式——这种形式在今天颇受青睐——允许人们根据涉及的问题在它们之间熟练地转换。到1960年，基于量子理论应用的论文超过了10万篇。[注]

* * *

尽管量子理论取得了如此众多的进步，但海森堡的方法一直是它的核心，因为曾经启发他的动力促使他抛弃粒子在穿过空间时会有抛物线或轨道的经典画面，他在1927年发表的论文最终确保他在这场战争中赢得了胜利。他一次性地证明了无论你使用哪种形式，它都是一个科学原理的问题——我们现在所知的不确定性原理——即像牛顿那样想象运动是没有用的。尽管牛顿对于现实的概念或许在宏观层面有用，但在构成宏观物体的原子和分子这样一种更基本的层面上，宇宙由一种完全不同的定律控制。

不确定性原理限制了我们对任意给定时间里的某对观察量的了解，例如位

置和速度。注这不是测量技术方面的限制，或者人类创造力的局限；相反，它是自然施加给自己的一种限制。量子理论宣称物体不具备如位置和速度等明确性质，并且，如果你试图测量它们，你把一个测量得越精确，另一个就越是不精确。

在日常生活中，我们当然能够按照自己的意愿对位置和速度进行精确测量。这似乎与不确定性原理相互矛盾，但当你浏览量子理论的数学时，你会发现日常物体的质量是如此巨大，以至于不确定性原理与日常生活中的现象毫不相干。这就是为什么牛顿物理学在这么长的时间里可以有效地解决问题——只有当物理学家开始研究原子层面的现象时，牛顿理论的局限性才会显现出来。

比如，假设电子的重量和足球的重量相当。那么，如果你把电子的位置限定在任意方向上的一毫米之内，你测量其速度的精确度依然会超过每小时一公里的一千亿分之一。对于我们在日常生活中或许会进行的运算来说，这样的精确度已经够用了。但由于远远轻于一个足球，一个真实的电子就完全是另外一回事了。如果你以一个与原子体积大致相符的精确度来测量一个真实电子的位置，不确定性原理将告诉你正负每小时1 000英里并不能更精确地决定电子的速度——这就是静止状态的电子和比大型喷气式客机速度更快的电子之间的差别。因此，海森堡在这里得到了他的证据：自然终究会禁止观测精确的电子路径。

随着对量子理论理解的加深，人们越来越清晰地看到在量子世界中不存在必然性，只存在可能性——没有“是的，它会发生的”，只有“当然，任何这样的事情都有可能发生”。在牛顿式世界观中，未来或过去任意给定时间的宇宙状态都留下了现在的宇宙印记，并且，通过使用牛顿定律，任何有足够智力的人都可以读懂它。如果我们有足够的地球内部数据，我们将可以预测地震；如果我们知道与天气相关的每一个物理细节，我们在原理上就可以有把握地说明天是否会下雨——或者一个世纪之后的明天会不会下雨。

这种牛顿式“决定论”是牛顿科学的核心：这种观点认为一个事件引发另一个事件，一直这样持续下去，并且可以利用数学对其进行预测。这是牛顿启示的一部分，这种令人目眩神迷的确定性启发了从经济学家到社会科学家中的每一个人，大家都“想拥有物理学拥有的东西”。但量子理论告诉我们在它的核心——在构成一切物体的原子和分子这个基本层面——世界不是决定论的，宇宙目前的状态并不能决定未来（或过去）的事件，而是许多未来选项中的一个是否会发生（或者在过去已经发生过的）的可能性。量子理论告诉我们宇宙就如同一个巨型宾果游戏。就像是对这些观点做出的回应，爱因斯坦在一封给玻恩的信中发表了他著名的宣言：“（量子）

理论产生了很多东西，但并没有让我们更接近古圣的秘密。我完全相信他不玩掷骰子游戏。”注

爱因斯坦在那份声明中援引了上帝的概念——“古圣”，这很有意思。爱因斯坦并不相信传统的个人性质的上帝，比如《圣经》。对爱因斯坦来说，“上帝”并没有参与我们生命的隐私细节，而是代表着宇宙法则的美感和简洁的逻辑。因此，当爱因斯坦说古圣不玩掷骰子游戏时，他的意思是说他无法接受随机性在自然的宏大方案中发挥的作用。

我父亲既不是物理学家，也不玩掷骰子，当他还在波兰生活的时候，他对于发生在几百英里之外的物理学伟大进步毫不知情。但当我向他解释量子不确定性时，他比爱因斯坦更容易接受它。对我父亲来说，理解世界的探索并不是集中在望远镜或显微镜所做的观察上，而是集中在人类的境遇上。因此，正像他根据自己的人生体验来理解亚里士多德自然变化和暴力变化之间的差别一样，他过往的经历也让量子理论内在的随机性变成了一粒更易吞服的药丸。他向我讲述了他站在小镇市场上一条长长的队伍中的情景，这些人是纳粹输送的数以千计的犹太人。当围拢开始时，他和一个逃亡的地下组织领导躲藏在一个厕所里，他被指定来保护这个人。但他和那个逃亡者都忍受不了那种恶臭，最终他们跑了出来。这个逃亡者迅速逃走了，人们再也没有见到过他。我父亲被驱赶到那支队伍中，站在了靠近末尾的位置。

队伍行进得很缓慢，我父亲看到所有人都被装进了卡车。当他靠近队伍前列时，党卫军负责人把人群分成了最后四组，我父亲就在其中一组。这个人说，他们需要3 000名犹太人，很明显这支队伍有3 004人。无论他们去哪里，他都不会跟他们一起去。后来他发现目的地是当地的一座公墓，在那里，所有人都被命令去挖一个巨大的墓穴，随后他们就被枪杀，直接埋在了里面。在一场死亡抽彩中我父亲抽中了3004号，德国人的精确战胜了纳粹的残忍。对我父亲来说，这就是他难以理解的一个随机性例子。相较而言，量子理论的随机性要容易理解得多。

和我们的生命一样，科学理论既可以矗立于岩层之上，也可以修建在沙砾之中。爱因斯坦对物理世界的绝对希望就是量子理论将证明是建造在后者之上的，时间一长，这个脆弱的地基将导致它的坍塌。当量子不确定性原理出现时，他表示它不是自然的基本定律，而是量子力学的局限——这是这个理论没有建立在牢固地基之上的一个信号。

他认为，物体的确具有如位置和速度等明确的数量值，但量子理论却无法处理它们。爱因斯坦说，尽管量子力学取得了无可否认的成功，但它一定是某种重塑客观现实的更深刻理论的不完整化身。然而没有多少人像爱因

斯坦一样认同这种想法，因为许多年来它一直都是人们无法排除的一种可能性，爱因斯坦一直到死都相信他的说法将在某天被证明是有道理的。然而在最近几十年，基于爱尔兰理论物理学家约翰·贝尔（1928—1990）巧妙著作的复杂实验已经排除了那种可能性。量子不确定性因而得以保留。

“爱因斯坦的意见，”玻恩坦承道，“就像重重的一击。”玻恩和海森堡一起为量子理论的概率解释做出了重要贡献，他希望得到更积极的回应。他很尊敬爱因斯坦，因而感到一丝失落，就像被一位受人尊敬的领袖抛弃了一样。其他人也有类似的感觉，甚至在不得不反对爱因斯坦的观点时难过地流下了眼泪。但很快爱因斯坦就发现在反对量子理论时他是孤军奋战，正如他自己说的那样，唱着“我孤独的小腔小调”以及看起来“就像我的外表一样奇怪”。1949年，在他最初写信反对玻恩的著作大概20年后，还有6年就将辞世的他又一次给玻恩写信，他说：“大家都认为我食古不化，年纪越大就越瞎越聋。我感觉这个形象并不是那么令人反感，因为它跟我的气质非常匹配。”

* * *

创造量子理论的中欧科学智囊团超越或者至少匹敌我们在穿越历史的旅途中遇到的任何灿若明星的知识分子群体。创新始于适宜的自然和社会环境，因而那些处于偏远地区的人没有做出多少贡献也就绝非偶然：受到揭示出一连串与原子有关的新现象的技术进步的驱动，理论物理学家在当时也有幸成为智囊团的一分子，为那个在人类历史上首次被披露的领域提出了见解和观察。这是欧洲历史上一个不可思议的时代，想象力如同一道道闪电刺破天空，一个自然新王国的轮廓开始浮现。

量子力学源自许多科学家的勤奋和天资，他们在少数几个国家里工作、交换观点、互相辩论，但他们的激情和奉献全都为了同一个目标。然而，即将攻陷他们大陆的混乱和野蛮给这些杰出人物的团结与碰撞蒙上了阴影。量子物理学的明星如同拙劣的洗牌掉出的扑克一样散落各地。

一切都开始于1933年1月，时任德国总统，陆军元帅保罗·冯·兴登堡任命阿道夫·希特勒为德国总理。同一天夜里，在伟大的哥廷根大学所在的小镇——海森堡、玻恩和乔丹合作研究海森堡力学的地方——身着制服的纳粹在大街上游行，他们一边挥舞着火把和纳粹党徽，一边唱着爱国歌曲，并奚落着犹太人。在几个月的时间里，纳粹在全国各地展开了焚烧书籍的活动，声称要把非雅利安人的教师从大学里驱逐出去。突然之间，许多最受人尊敬的德国知识分子要么被迫舍弃了他们的家园，或者要么和我那身在波兰，没有这种选择的裁缝父亲一样，留下来面对纳粹日益猖獗的威胁。据估计，在5年时间里有将近2 000名顶级科学家因为血统或政治信仰的原

因而被迫逃亡。

然而，关于希特勒的崛起，据说海森堡曾欣喜地评论道："至少我们现在有了秩序，可以结束这场动荡了，我们有一双强有力的手统治着德国，这对欧洲有好处。"注海森堡在十来岁的时候就开始对德国社会的发展方向心怀不满。他甚至在一个民族主义青年团体中非常活跃，这个团体经常组织去野外徒步旅行，他们围坐在篝火旁批评德国人道德的沦丧以及共同目标和传统的缺失。作为一名科学家，他也想远离政治，但他似乎看到希特勒强有力的手能够恢复德国"一战"前的伟大。

然而，海森堡支持并协助发明的新物理学却注定会激怒希特勒。在19世纪，德国物理学凭借数据收集和分析初步确立了它的卓越和声望。当然也有人提出了数学假设并对其进行分析，但这通常不是物理学家关注的重点。然而，在20世纪前几十年，理论物理学作为一个研究领域得到了极大的发展，正如我们看到的那样，它取得了令人炫目的成功。然而，纳粹却认为它过度理论化，是一种深奥难解的数学。和他们痛恨的"堕落"艺术一样，他们讨厌它的超现实主义和抽象概念。最糟糕的是，它的大部分内容是犹太科学家的工作成果（爱因斯坦、玻恩、玻尔、泡利）。

纳粹开始把这些新理论——相对论和量子理论——称为"犹太人的物理学"。因此，它们不但是错误的，也是堕落的，纳粹禁止大学开设关于它们的课程。甚至连海森堡也有了麻烦，因为他曾经研究过"犹太人的物理学"，还和犹太物理学家一起工作过。这种抨击让海森堡感到愤怒，尽管他可以在国外获得很多享有盛誉的职位，但他依然选择留在德国，效忠政府，对第三帝国言听计从。

海森堡试图直接恳请海因里希·希姆莱帮忙解决他的问题，希姆莱是纳粹党卫军的头目，以后还将负责建造集中营。海森堡的母亲和希姆莱的母亲相识多年，海森堡通过这层关系给希姆莱写了一封信。希姆莱的回应是持续了8个月的严密审查，这成为海森堡未来很多年的噩梦，但希姆莱最终宣布"我相信海森堡是清白的，我们不能损失这个人，或者让他保持沉默，他相对比较年轻，还可以教育新一代"。注海森堡同意了，作为交换，他将否认犹太物理学的犹太创造者，并避免在公共场合提到他们的名字。

至于其他著名的量子先驱，卢瑟福当时在剑桥。他在这里帮助成立了一个旨在帮助学术难民的组织，并出任主席。他于1937年去世，享年66岁，死于绞窄性疝气手术的延误。狄拉克成为剑桥大学卢卡斯教授（牛顿和巴贝奇曾经的职务，霍金将来的职务），有一段时间他研究与英国原子弹计划有关的问题，接下来被邀请为曼哈顿计划工作，但因为道德原因拒绝了。他在塔拉哈西的佛罗里达州立大学度过了他的晚年，1984年在这里去

世，享年82岁。泡利当时是苏黎世大学的一名教授，他和卢瑟福一样也是一个国际难民计划的领导，但当战争爆发时，他拒绝了瑞士国籍，逃到了美国，战争结束后不久被授予诺贝尔奖。晚年，他开始对神秘主义和心理学，尤其是梦境产生了越来越浓厚的兴趣，他还是苏黎世荣格学院的创始人之一。他于1958年在苏黎世一家医院去世，享年59岁，死于胰腺癌。

和泡利一样，薛定谔也是奥地利人，但当希特勒掌权时他在柏林生活。对于希特勒，就和许多其他方面一样，薛定谔被证明是海森堡的对立面：他直言不讳地反对纳粹，并很快离开德国，在牛津大学获得了一个职位。这之后不久，他和狄拉克一起获得了诺贝尔奖。海森堡当时正试图使德国物理学界保持团结，他对薛定谔的离去表示愤恨：“因为他既不是犹太人也没有受到威胁。”[注]

结果证明，薛定谔并不会在牛津大学待多长时间。之所以会出现麻烦，是因为他和他的妻子以及情妇生活在一起——他把这个情妇看得比第二妻子还重要。正如他的传记作者沃尔特·穆尔写的那样，在牛津，“妻子被当作是不幸的女性附属品……在牛津有一个妻子就已经很糟糕了——有两个那就太可怕了”。[注]

薛定谔最终在都柏林定居下来。他在1961年死于肺结核，享年73岁。他是在1918年参加第一次世界大战时首次感染上这种病的，从此以后就饱受呼吸问题的折磨，这也是他为什么喜欢阿尔卑斯山度假胜地阿罗萨的原因，也正是在这个地方他发展出了他的量子理论。

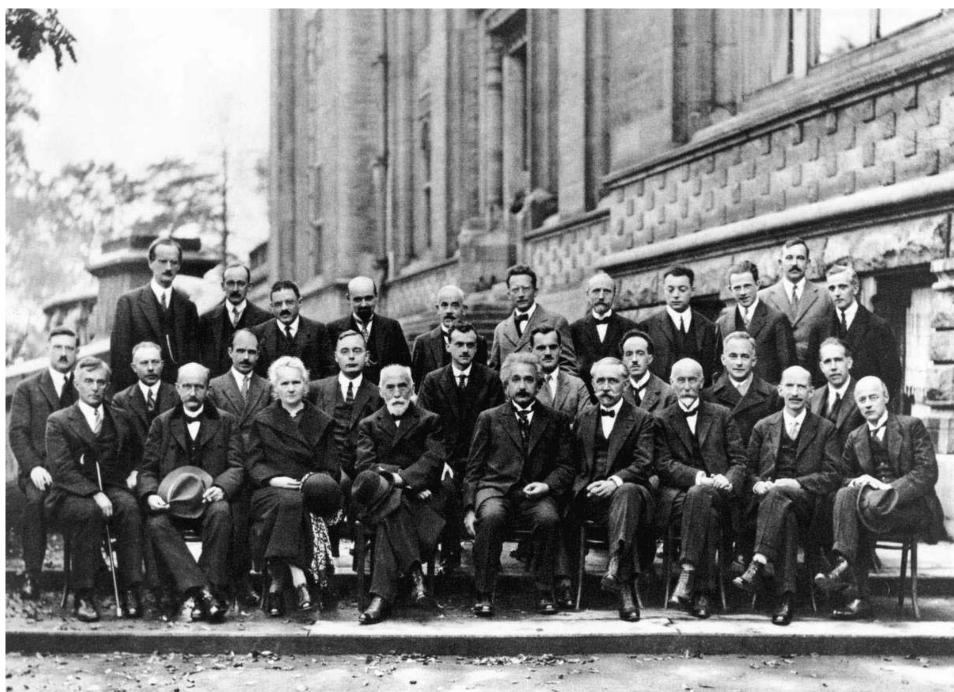
当希特勒开始掌权时，爱因斯坦和玻恩就生活在德国，由于他们的犹太血统，及时移民变成一件生死攸关的事情。爱因斯坦当时是柏林的一名教授，希特勒被任命的那一天他恰巧正在美国加州理工学院访问。他决定不回德国，从此他再也没有踏上过那片土地。纳粹查抄了他的私人财产，焚毁了他关于相对论的作品，并悬赏5 000美元要他的人头。但他早有准备：在他们动身去加利福尼亚之前，爱因斯坦告诉他的妻子好好再看一眼他们的房子。“你再也不会看到它了。”他对她说。[注]她认为他在说胡话。

爱因斯坦在1940年成为美国公民，但也保留了他的瑞士国籍。他在1955年去世，随后被送往一家火葬场，12名亲密朋友正安静地聚集在这里。在简短的悼念活动结束后，他的遗体被火化，骨灰被撒在了一个不公开的地点，但普林斯顿医院的一位病理学家却摘除了他的大脑，此后它就一直被反复地研究。它剩余的部分目前在马里兰州银泉市的美国陆军国家健康和医学博物馆。[注]

由于被禁止讲课，同时又担心对他孩子持续的骚扰，玻恩也试图马上离开德国。海森堡尽力使玻恩免于受到非雅利安人工作限制的影响，但最后在泡利的难民组织的帮助下，玻恩于1933年7月离开德国，在剑桥大学得到一项任命，后来又搬到了爱丁堡。1932年玻恩选择对诺贝尔奖置之不理，于是海森堡获得了它——因为他们一起完成的工作——玻恩在1954年获得了自己的诺贝尔奖。玻恩于1970年去世，他墓碑上镌刻的墓志铭是“pq - qp＝ $h/2\pi$”，这是量子理论最著名的公式之一，这个数学声明将成为海森堡不确定性原理的基础——这是他和狄拉克分别独立发现的。(注)

生活在丹麦的玻尔管理着一所如今被称为尼尔斯·玻尔研究所的机构，有一段时间他并没有受到希特勒行动的影响，他帮助犹太科学家难民在美国、英国、瑞典寻找工作。但希特勒在1940年侵入丹麦，1943年秋天，驻哥本哈根的瑞典大使向玻尔透露他面临立即被拘捕的危险，这是驱逐所有丹麦犹太人计划的一部分。他本来应该在一个月之前就被逮捕，但巧合的是，纳粹感觉如果他们等到大规模拘捕行动结束后再去抓玻尔或许会减少这件事情引发的公愤。这个延误拯救了玻尔，他和妻子逃到了瑞典。第二天，玻尔见到了国王古斯塔夫五世，并说服他公开为犹太难民提供庇护。

然而玻尔自己却面临着被绑架的危险。瑞典遍布德国特务，尽管他被安置在一个秘密地点，但这些特务知道他就在斯德哥尔摩。很快温斯顿·丘吉尔就带话给玻尔称英国将营救他，他被装进一架德哈维兰蚊式轰炸机炸弹舱里的垫子中，这是一种高空快速飞行轰炸机，没有携带武器，可以避开德国战斗机。在飞行过程中，玻尔由于缺氧昏了过去，但他还是活着到了英国，身上依然穿着他离开丹麦时所穿的衣服。他的家人随后也赶来了。玻尔又从英国逃到了美国，并成为曼哈顿计划的一名顾问。战争结束后他又回到哥本哈根，于1962年在这里去世，享年77岁。



1927年在布鲁塞尔参加第五届索尔维国际电子和光子大会的量子理论先驱。后排：薛定谔(左六)，泡利(左八)，海森堡(左九)。中排：狄拉克(左五)，玻恩(左八)，玻尔(左九)。前排：普朗克(左二)，爱因斯坦(左五)

在伟大的量子理论家中，只有普朗克、海森堡和乔丹留在了德国。和伟大的实验主义者盖革一样，乔丹也是一名狂热的纳粹分子。他成为德军300万纳粹党突击队中的一员，自豪地穿着他带有纳粹标志臂章的褐色制服和长筒靴。注他试图使纳粹对制造先进武器的各种方案产生兴趣，但讽刺的是，由于他和“犹太人的物理学”之间的瓜葛，没有人理会他。在战争结束后，他进入德国政坛，并在联邦议院（德国的议会）赢得一个席位。他在1980年去世，享年77岁，是那些早期先驱中唯一没有获得诺贝尔奖的人。

普朗克并不支持纳粹，但他并没有做太多努力去反抗他们，哪怕是悄悄地反抗。相反，和海森堡一样，他的首要任务似乎是在符合所有纳粹法律和规定的情况下尽可能多地保护德国科学。注他在1933年5月与希特勒会面，目的是劝阻他不要推行从德国学术界驱逐犹太人的政策，但这次会面当然不会改变什么。几年后，普朗克最亲近的幼子试图以最勇敢的方式改变纳粹党——他是1944年7月20日刺杀希特勒计划的一名成员。在和其他人一起被捕之后，他遭受了严刑拷打，最后被盖世太保杀害了。对于普朗

克来说，这是他充满悲剧的一生中最为悲惨的事情。在他的5名子女中，有3个年纪轻轻就去世了——他最年长的儿子在“一战”中的一次行动中被杀，两个女儿死于难产。然而，据说正是他儿子被处决最终熄灭了普朗克继续活下去的欲念。他在两年后去世，享年89岁。

最初的热情过后，海森堡也开始对纳粹感到厌恶。尽管如此，在第三帝国统治期间他依然在科学界身居高位，无怨无悔地履行他的职责。当犹太人被从大学中驱逐时，他尽最大努力吸引最优秀的替代者以保护德国物理学。他从未加入纳粹党，但他始终没有放弃他的职位，也从未与这个政权决裂。

当德国在1939年启动原子弹计划时，海森堡也参与其中，并投入了巨大的精力。他很快就完成了运算，证明核裂变链式反应有可能实现，一种纯的叫作铀235的稀有同位素可以用来制造威力巨大的炸药。这是历史上众多具有讽刺意味事件的一个代表，德国人在战争初期的胜利将导致他们彻底的失败：由于战事进展得非常顺利，纳粹政权最初并没有部署太多资源来研究原子弹，但当战事发生逆转时，一切都太迟了——在他们可以造出一颗原子弹之前纳粹就被打败了。(注)

战争结束后，海森堡和其他9名顶尖德国科学家一起被盟军暂时关押了一段时间。被释放后，他回去继续研究物理学的根本问题，努力重建德国科学，并试图恢复他在其他国家的科学家中的名誉。海森堡在1976年2月1日死于他位于慕尼黑的家中，再也没能取得他曾经享有的地位。

战争结束后，物理学界对海森堡的反应褒贬不一，这或许可以从我自己的行为中体现出来。1973年，当我还是一名学生时，我获得了参加他在哈佛的一个关于量子理论发展的讲座的机会，我没法让自己参加。但数年之后，当我成为一个他曾经担任过主任的研究所的一名洪堡研究员时，我经常会站在他曾经工作过的办公室外，思索着这种帮助他发明出量子力学的精神。

* * *

尽管由伟大的量子先驱们发展的量子理论并不能改变我们对于宏观世界总体物理学的描述，但它却使我们的生活方式发生了革命性的改变，它使人类社会发生的改变如同工业革命一般巨大。量子理论定律成为所有重建现代社会的信息和通信技术的基础：计算机、互联网、卫星、手机以及所有电器。但和它的实际应用同样重要的是量子理论为我们讲述的关于自然、关于科学的东西。

牛顿式世界观的乐观主义曾经断言，使用正确的数学运算，人类就能预测

和解释所有自然现象，因此，各个领域受到启发的科学家努力把他们的研究主题“牛顿化”。20世纪前50年的量子物理学家打消了这种渴望，他们发现了一个既能赋予人力量又极度谦卑的真理。它之所以能赋予人力量，是因为量子理论显示我们可以理解和操控一个超越我们感官的看不见的世界。它之所以谦卑，是因为几千年以来，科学家和哲学家所取得的进步表明我们的理解能力是无限的，但现在大自然通过量子物理学家的伟大发现告诉我们，我们可以知道的东西是有限的，我们可以控制的东西也是有限的。并且，量子提醒我们其他看不见的世界是有可能存在的，宇宙是一个充满非凡秘密的地方，在地平线之外挥动一下翅膀或许就会产生难以解释的、需要思想和理论新革命的现象。

在这些篇章中，我们一起走过了一段跨越数百万年的旅途，它从第一种人类物种开始，这种物种无论从外形上还是智力上都与我们天差地别。在这段400万年的旅程中，也就是一眨眼的瞬间我们就进入了现在这个时代，我们了解到大自然由各种定律控制，也明白除了我们在日常存在中体验到的这些定律之外，世界上还存在更多的东西——就像哈姆雷特对霍雷肖说的那样，宇宙和地球中存在的东西比我们在哲学里梦想的还要多。

在可预见的未来，我们的知识还会继续增加，鉴于从事科学研究的人数指数般地增长，我们有理由相信未来100年将会产生和过去1 000年一样伟大的进步。但如果你正在阅读这本书，你就会明白除了技术层面的问题，我们对于环境还有更多的疑问——我们人类在自然中发现美，寻找美的意义。我们不但想知道宇宙如何运行，我们还想知道我们应该如何适应这些。我们想给自己的生命和有限的存在提供一个背景，我们想感受与他人的联系，去感受他们的快乐和悲伤，去感受这个广阔的宇宙，在这里，我们的喜怒哀乐微不足道。

理解和接受我们在宇宙中的位置很困难，但从一开始它就是那些自然研究者的目标之一——从认为科学与形而上学、伦理学和美学一样都是哲学分支的早期的希腊人，到像玻意耳和牛顿这样的把自然研究当成是理解上帝本质的一种途径的开拓者。对我来说，当我某天在温哥华《百战天龙》的拍摄现场时，对于物理世界和人类世界的深刻见解之间的联系以最直观的方式显现了出来。我为他们正在拍摄的这部戏撰写了剧本，并就低温物理实验室的外观对道具师和场景设计师进行过指导。在这些普通的技术讨论中，我突然第一次不得不开始面对这个事实，也就是我们人类并没有超脱于自然，而是像鲜花或者达尔文研究的鸟儿一样转瞬即逝。

一切都开始于一通从制片办公室转到拍摄现场的电话。在当时，还不是每一个12岁的小孩都人手一部手机，在拍摄现场接电话很不平常，我一般都是在事后数小时才会收到电话留言，潦草地写在皱巴巴的纸片上。就像这条留言：“伦纳德：（无法辨认）想让你（无法辨认）。他说事情很紧

急！给他回电话（无法辨认）。”这次不一样。这次一名制片助理给我拿来一部电话。

电话那一头是芝加哥大学附属医院的一名医生。他说我父亲中风了，现在处于昏迷状态——这是几个月前我父亲为修复他的主动脉所做的手术的迟发性结果。黄昏时分我来到医院，注视着我父亲，他躺在病床上，眼睛闭着，看上去很平静。我坐在他的身边开始轻抚他的头发。他摸上去温暖而又鲜活，好像正在熟睡，仿佛会随时醒过来，微笑地看着我，伸出手抚摸我，问我早餐想不想吃黑面包和腌鲱鱼。

我和我父亲说着话。我告诉他我爱他——就像多年以后我偶尔会对我正在熟睡的孩子说的话一样。但这位大夫强调我父亲不是在睡觉。他听不见我的声音，这位大夫说。他说我父亲的大脑数据显示他已经死亡。我父亲依然温热的身体很明显就像《百战天龙》中的物理实验室——外表看起来精致的躯壳，但却没有任何有意义的功能。这位大夫告诉我，我父亲的血压会逐渐降低，他的呼吸也会逐渐放缓，直到他死去。

当时我非常痛恨科学。我想证明它错了。科学家和医生凭什么能判定一个人的命运？我愿意付出任何东西，或者我的一切来换回我的父亲，哪怕只是一天，一个小时，甚至一分钟，好让我对他说一句我爱他，说一句再见。但就像大夫说的那样，该来的还是来了。

那一年是1988年，我父亲76岁。在他去世后，我们全家人要“坐七”，意思是我们要进行为期7天的传统服丧，这期间每天要祷告三次，不能离开自己的家。以前我会坐在客厅里和他聊天，但现在我坐在那里，他却变成了回忆，我知道我永远不可能再和他说话了。多亏了我们人类的知识之旅，我知道他的原子依然存在，也将一直存在下去；但我同样也知道，尽管他的原子没有随他一起死亡，但它们将会消散。它们组织成的我父亲这样一个存在已经消失，也再不会出现，除了留在我以及那些爱他的人的脑海中的一个影子。我知道几十年后同样的事情也会发生在我身上。

让我惊讶的是，多亏了我理解物理世界的努力，我现在感觉我曾经学到的东西并没有让我变得冷酷无情——它给予我力量。它帮助我在心碎的时候振作起来，不再感到那么孤独，因为我是某种更伟大的东西的一部分。它打开了我的眼界，让我看到我们的存在那种惊人的美丽，无论上天赐予我们多少岁月。尽管我父亲从来没有机会进入一所高中，但他对于物理世界却有着深刻的体会和好奇心。在我年轻时，有一次我们在客厅聊天，我告诉他有一天我会写一本关于物理世界的书。几十年后，这本书终于出现了。



我的父亲，这天晚上他向我母亲求婚，纽约，1951年

---

1. 讽刺的是，林德曼曾经尝试过研究物理学，但没有取得多大成功。他为人熟知的原因是他证明了你不能“把圆变成方”——也就是说，只给你一把尺子和一个圆规，你无法画出一个和指定圆形面积相同的正方形。

2. 严格来说，不确定性原理限制我们对位置和动量的了解（动量等于质量乘以速度），但对我们而言这种差别并不重要。

3. 我非常荣幸地发现我的博士宗谱可以一直追溯至马克斯·玻恩。顺序是：玻恩/ J. 罗伯特·奥本海默（曼哈顿计划的带头人）/ 威利斯·兰姆（诺贝尔奖得主以及激光的创建人之一）/诺曼·克罗尔（为光和原子理论做出了重要贡献）/艾温德·威切曼（我的博士生导师，数学物理学领域一位重要人物）。

4. William H. Cropper,*Great Physicists: The Life and Times of Leading Physicists from Galileo to Hawking* (Oxford: Oxford University Press, 2001),252.

5. Ibid.

6. The definitive biography of Heisenberg is David C. Cassidy,*Uncertainty: TheLife and Times of Werner Heisenberg* (New York: W. H. Freeman, 1992).

7. Ibid., 99–100.

8. Ibid., 100.

9. Olivier Darrigol,*From c-Numbers to q-Numbers: The Classical Analogy in theHistory of Quantum Theory* (Berkeley: University of California Press, 1992),218–24, 257, 259; Cassidy,*Uncertainty,* 184–90.

10. “Failure,” television commercial, 1997, accessed October 27, 2014, https://www.youtube.com/watch?v=45m MioJ5szc.

11. Lincoln-Douglas Debate at Charleston, Illinois, September 18, 1858, accessedNovember 7, 2014, http://www.nps .gov/liho/historyculture/debate4.htm.

12. Abraham Lincoln, address at Peoria, Illinois, October 16, 1854; see Roy P.Basler, ed.,*The Collected Works of Abraham Lincoln,* vol. 2 (New Brunswick,N.J.: Rutgers University Press, 1953–55), 256, 266.

13. William A. Fedak and Jeffrey J. Prentis, “The 1925 Born and Jordan Paper ‘OnQuantum Mechanics,’”*American Journal of Physics* 77 (February 2009):128–39.

14. Niels Blaedel,*Harmony and Unity: The Life of Niels Bohr* (New York:Springer Verlag, 1988), 111.

15. Max Born,*My Life and Views* (New York: Charles Scribner’s Sons, 1968), 48.

16. Mara Beller,*Quantum Dialogue: The Making of a Revolution* (Chicago:University of Chicago Press, 1999), 22.

17. Cassidy,*Uncertainty,* 198.

18. Abraham Pais,*Subtle Is the Lord: The Science and Life of Albert Einstein*(Oxford: Oxford University Press, 1982), 463.

19. Cassidy,*Uncertainty,* 203.

20. Charles P. Enz, *No Time to Be Brief* (Oxford: Oxford University Press, 2010),134.

21. Blaedel, *Harmony and Unity,* 111–12.

22. Walter Moore, *A Life of Erwin Schrödinger* (Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1994), 138.

23. Ibid., 149.

24. Ibid.

25. Wallace Stevens, "Thirteen Ways of Looking at a Blackbird," *Collected Poems* (1954; New York: Vintage, 1982), 92.

26. Pais, *Subtle Is the Lord,* 442.

27. Cassidy, *Uncertainty,* 215.

28. Ibid.

29. Moore, *Life of Erwin Schrödinger,* 145.

30. Albert Einstein to Max Born, December 4, 1926, in *The Born-Einstein Letters* ,ed. M. Born (New York: Walker, 1971), 90.

31. Pais, *Subtle Is the Lord,* 443.

32. Ibid., 31.

33. Ibid., 462.

34. Graham Farmelo, *The Strangest Man: The Hidden Life of Paul Dirac, Mystic of the Atom* (New York: Basic Books, 2009), 219–20.

35. Cassidy, *Uncertainty,* 393.

36. Ibid., 310.

37. Moore, *Life of Erwin Schrödinger,* 213–14.

38. Philipp Frank, *Einstein: His Life and Times* (Cambridge, Mass.: Da CapoPress, 2002), 226.

39. Michael Balter, "Einstein's Brain Was Unusual in Several Respects, Rarely Seen Photos Show," *Washington Post,* November 26, 2012.

40. Farmelo, *The Strangest Man,* 219.

41. Cassidy,*Uncertainty,* 306.

42. Cassidy,*Uncertainty,* 421–29.

后记

这里有一道老掉牙的趣味智力题，讲的是某天有个修道士在日出前离开他的修道院，步行去一座位于高山顶峰的教堂的故事。上山的路只有一条，非常狭窄和蜿蜒，因为有些地段相当陡峭，他有时候会走得很慢，但他可以在日落前不久抵达教堂。第二天早上，他沿原路返回，还是在日出前动身，回到修道院的时间又是在日落时分。问题是：在这条路上有没有一个地点他会在两天中的同一时间经过？你不需要找出这个地点，只需要回答有——还是没有。注

这个问题和那些谜语不同，靠的不是什么花招和隐瞒的信息，或者对某些词的新奇解释。这条路上没有什么祭坛让修道士在每天中午做祷告，你也不需要知道他上下山的速度，也没有你为了解答这道题必须猜测的遗漏信息。它也不像下面这个谜语：有一个身高6英尺的屠夫问他的重量是什么，答案是“肉”。不，这道题的情景设置很直接，你很有可能只需要读一遍就能完全理解该怎么回答它。

仔细想一会儿吧，因为要想成功地解答这个谜题，需要耐心和毅力，就和科学家花费多年时间尝试着去解决的许多问题一样。但更关键的是，正如所有优秀科学家所知道的，这取决于你以正确的方式提出问题的能力，退后一步，以一个略微不同的视角来审视这个问题。一旦你这么做了，就可以轻松地找到答案。但问题难就难在你该如何找到这个视角。这也就是为什么只有具备超常智力和创造力的人才可以创造出来牛顿的物理学、门捷列夫的元素周期表以及爱因斯坦的相对论——然而当它们经过恰当的解释，今天的任何物理学专业和化学专业大学生都可以理解它们。这也就是为什么让前一代人吃惊的东西在下一代人这里就变成了常识，并使科学家攀登上更伟大的高度。

为了找到回答修道士这个问题的办法，而不是在你的脑子里回放修道士头一天上山第二天下山的画面，来让我们做一次思想实验，以一种不同的方式来想象这个问题。现在设想这里有两个修道士——一个上山，一个下山，这两人都是在同一天的日出时分出发。很明显，他们会在路上碰面。他们碰面的这个地点就是那个问题中修道士在两天中的同一时间到达的地点。所以这道题的答案是“有”。

修道士在路上会经过一个特别的地点，他会在上山和下山的相同时间经过，这看上去像一个不太可能出现的巧合。但一旦你打开思路，想象有两个修道士在同一天上山和下山，你就会发现这并不是巧合——而是必然会

发生的事情。

从某种程度上说，人类理解能力的进步靠的正是一连串诸如此类的想象，它们每一个都是由那个以略微不同的视角看待世界的人创造的。伽利略想象物体在一个没有阻力的理论世界下落。道尔顿想象如果元素由不可见的原子构成，它们将如何发生反应来形成化合物。海森堡想象原子王国是由一种和我们在日常生活中体验到的定律完全不同的奇异定律统治的。这种幻想式的思维方式一头贴着“疯狂”的标签，另一头贴着“远见”。正是靠着一代又一代观点介乎这两点之间的思想家勤恳的努力，我们对于宇宙的理解才会发展到今天这个境界。

如果我达到了我的目标，前面的这些篇章将会使读者理解人类对于物理世界思考的根源、研究者所关切的问题、理论和研究的本质，以及文化和信仰体系影响人类探索的方式。这对于理解我们这个时代的许多社会、职业以及道德问题非常重要。但这本书的大部分内容也同样与科学家和其他创新家思考问题的方式有关。

2 500年前，苏格拉底把不曾进行过批判和系统性思考的人比喻成工匠，比如陶工那样的人，他们在从事自己的技艺时不会遵循正确的流程——实际上制作陶器看上去似乎很简单，但它一点儿都不简单。注 在苏格拉底的时代，这牵涉到从雅典南部的一个黏土坑中取土，将黏土放在特制的转盘上，以恰当的速度旋转它来获得准备制作的器皿的直径，接下来还要进行揩拭、刮擦、粉刷、上釉、晾干，然后进窑烧制两次，每一次的温度和湿度都要恰到好处。缺少任何一道流程，做出的陶器都会变形，开裂，变色，或者单纯就是难看。苏格拉底指出，强大的思考力也是一种技艺，它值得你去把它做好。毕竟，我们都知道那些不擅长思考的人所过的生活要么残缺，要么充满了悲哀的缺憾。

我们没有几个人研究原子或空间和时间的本质，但我们对所生活的这个世界都形成了自己的理论，并使用这些理论来指导我们的工作和娱乐，就像我们该如何投资、什么是健康饮食，甚至怎样才让我们感到幸福。并且，和科学家一样，我们在生命中也必须进行创新。这或许意味着当你没有多少时间或精力时你打算拿什么来做晚餐；当你的笔记丢了，你的电脑又死机了，你该如何临时做出一篇陈述——或者一些可以改变人生的事情，比如懂得何时放下过去的思想包袱，何时又该抓牢支撑你继续前行的传统。

生活本身——尤其是现代生活——给我们带来的智力挑战和科学家面对的挑战不相上下，即使我们自己并不这么认为。因此，在所有你能从这段冒险中收获的经验教训里，最重要的或许是那些成功的科学家所展现的性格特征：灵活多变和不墨守成规的思考方式，耐心的探索，对他人相信的东

西缺乏忠诚，改变自己看法的价值，以及对于一定存在答案并且我们也将发现答案的信念。

* * *

我们对宇宙的理解现在处在哪里？20世纪在各个前沿取得了巨大的进步。物理学家解决了原子的谜题并发明出量子理论，这些进步转而又使其他进步成为可能，因此科学发现的步伐变得越发匆忙。

在诸如电子显微镜、激光和电脑等新量子技术的协助下，化学家开始理解化学键的本质，以及分子的形态在化学反应中发挥的作用。同时，创造和利用这些化学反应的技术也经历了爆炸式的发展。到20世纪中叶，世界已经完全变了模样。我们不再依靠自然界中的物质，而是学会了如何创造新的人造材料，并通过改造使旧有材料具备了新用途。塑料、尼龙、聚酯纤维、硬化钢、硫化橡胶、精炼石油、化肥、消毒剂、抗菌剂、氯化水——这份名单可以一直罗列下去，结果，食品产量不断增长，死亡率持续降低，我们的生命周期急速增加。

与此同时，生物学家也取得了巨大的进步，他们详细论述了细胞作为分子机器是如何运行的，破译了遗传信息是如何在代际间传递的，并为我们这个物种描绘了蓝图。今天，我们可以从体液中提取DNA片段进行分析，从而找出神秘的传递媒介。我们可以把DNA片段接入现有生物体内从而创造出新物种。我们可以把光导纤维植入老鼠的大脑来像控制机器人一样控制它们。我们可以坐在电脑前观察人的大脑如何产生思想，或经历情绪。在某些情况下，我们甚至可以解读人的思想。

尽管我们走了这么远，但如果就此认为我们接近任何一个终极答案，这种想法几乎可以肯定就是错误的。这样的认识是一个贯穿整个人类历史的错误。在古代，巴比伦人相信大地是女海神提亚玛特的尸体形成的。几千年后，希腊人在理解自然的本质方面取得了不可思议的进步，大多数人也同样相信陆地世界中的所有物体都是由土、气、火和水的某种结合构成的。又一个2 000年过去了，牛顿学说的信奉者相信已经发生的或将会发生的一切，从原子的运动到行星的轨道，在理论上都可以使用牛顿运动定律进行解释和预测。这些曾经都是虔诚的信仰，然而它们都错了。

无论我们生活在哪个时代，人类都倾向于认为自己处于知识的巅峰——尽管我们之前的那些人的信仰是错误的，但我们自己的答案却是正确的，并且也不会像他们的信仰那样被取代。科学家——甚至是那些伟大的科学家——他们的这种傲慢倾向并不比任何人少。看看斯蒂芬·霍金在20世纪80年代发表的宣言吧，他说到这个世纪结束时物理学家将拥有他们的“大一统理论”。

今天的我们是否像霍金在几十年前预言的那样，处在已经回答了我们对于自然界所有根本问题的边缘了？或者我们的处境是否类似19世纪和20世纪之交，在那个时候我们认为正确的理论将很快被一些完全不同的东西取代？

在科学的地平线上笼罩着的疑云不在少数，这表明我们或许处于后一种情况。生物学家依然不知道生命是何时以哪种方式在地球上诞生的，或者在另一颗类似地球的行星上出现生命的可能性有多大。他们不了解推动有性繁殖进化发展的选择优势是什么。或许最重要的是，他们不清楚大脑是如何产生思维体验的。

化学同样也有很多尚未解答的重大问题，从水分子如何与其邻居形成氢键从而产生那种重要液体的神奇性质，到氨基酸链可以折叠的长度从而构成对生命至关重要的、意大利面般的精确蛋白质。然而，物理学才是最具爆炸性的潜在问题存在的领域。在物理学中，开放性的问题具备修正所有我们认为我们知道的关于自然最基本层面的东西的潜在可能。

比如，尽管我们已经建造了一个统一电磁学和两种原子核力的非常成功的作用力和物质“标准”模型，但几乎没有人相信这个模型可以被当作最终的答案。这个模型的一个主要缺点是它排除了重力。另一个问题是它有很多可以调整的参数——“修正系数”——它们与实验测量的基础密不可分，但却无法通过任何一种重要理论加以解释。弦理论/M理论曾经似乎拥有迎接这两个挑战的希望，但它的发展看起来也停滞了，使许多物理学家对曾经寄予它的厚望产生了怀疑。

同时，我们现在怀疑我们使用最强大的设备观测到的宇宙也只是未被探明的宇宙的极小一部分，宇宙空间的大部分区域就像幽灵般的冥界，注定是一个——至少在一定时间内——难解之谜。有人更精确地指出，我们通过感官和实验室器材探测到的普通物质和光能似乎只占到宇宙中物质和能量的5%，而一种看不见的，从未被探测到的被称为“暗物质”的物质类型，以及一种看不见的、从未被探测到的被称为“暗能量”的能量形式被认为构成了其余的部分。

物理学家之所以会假定暗物质存在，是因为我们在宇宙中能够看见的物质似乎被某种来源不明的重力牵引着。暗能量也同样神秘。这种观点的流行始于1998年，当时科学家发现宇宙正在以一个前所未有的加速度扩张。这种现象可以通过爱因斯坦的重力理论——广义相对论——加以解释。这种理论允许宇宙具有被注入一种奇特的、可产生“反重力”效果的能量形式的可能。但这种“暗能量”的起源和本质目前尚未被发现。

暗物质和暗能量会被证明符合我们现有理论——标准模型和爱因斯坦的相

对论——的解释吗？或者，它们会像普朗克常数一样让我们得出一个完全不同的宇宙观吗？弦理论会被证明是正确的吗？或者，如果不正确，我们能不能发现一种统一自然界所有作用力的理论，一种没有“修正系数”的理论呢？没有人知道答案。在所有我希望自己可以长生不死的理由中，活着知道这些问题的答案排在我这张名单的前列。我猜这就是我成为一个科学家的原因吧。

---

1. Martin Gardner, “Mathematical Games,”*Scientific American,* June 1961,168–70.
2. Alain de Botton,*The Consolations of Philosophy* (New York: Vintage, 2000),20–23.

致谢

在我最终将我的构思付诸文字的这些年里，我很荣幸地从许多朋友那里获得了真知灼见，他们都是各个科学领域及其历史的学者，那些阅读过部分初稿的人提出的建设性批评意见也让我受益匪浅。我特别要感谢拉尔夫·阿道尔夫斯、托德·布伦、杰德·布奇沃尔德、皮特·格雷厄姆、辛西娅·哈灵顿、斯蒂芬·霍金、马克·希拉里、迈克尔·杰非、汤姆·莱昂、斯坦利·欧拉皮萨、阿列克谢·蒙洛迪诺、尼克莱·蒙洛迪诺、奥莉维亚·蒙洛迪诺、桑迪·珀尔里斯、马库斯·珀希尔、贝丝·拉希巴姆、兰迪·罗杰尔、弗雷德·罗斯、皮拉尔·瑞恩、厄尔哈德·塞勒尔、迈克尔·谢尔莫以及辛西娅·泰勒。我也很感激我的代理人和朋友苏珊·金斯伯格，谢谢她为本书的内容以及出版方面的工作做出的指导，同样重要的是，感谢在她对我进行指导时我们共进的那些伴着美酒的绝妙晚宴。另一位给予我巨大帮助的人是我耐心的编辑爱德华德·卡斯腾梅尔，他在这本书的成书过程中提出了宝贵的批评和建议。我同样也要感谢企鹅兰登书屋的丹·弗兰克、艾米莉·吉格里尔拉诺和安妮·尼克尔，以及作家书屋的史黛西·戴斯塔，我对他们的帮助和建议深表感激。最后，我还要对我另外一位全天24小时待命的编辑表达深深的谢意，她就是我的妻子唐娜·斯科特。她不辞劳苦地一遍又一遍审阅草稿，仔细阅读每一个段落，提出了宝贵的建议和深刻的观点，并给予了我极大的鼓励，这期间也常常伴随着葡萄酒，但（几乎）从没有过不耐烦。从孩提时代起，我就同我父亲谈论科学方面的事情，这本书就是那个时候开始在我的头脑中酝酿的。他总是对我说的话很有兴趣，并提出他自己的民间智慧作为回应。我觉得假如他还健在的话，他应该会珍视这本书的。